目次

第 1 章　　はじめに　― 脳と精神・素描 ― **11**

第一節　脳と精神は不可分である 11

脳の活動の所産としての精神 **11**

生物学的「ヒト」と社会史的「人間」 **11**

高次神経活動の研究 **11**

脳科学研究のスローガン **11**

精神は脳を離れて超越したものではない **12**

自己をとりまく世界を統合的に捉える **12**

高次神経機能の研究 **12**

生命への畏敬と平和の問題 **13**

人間を形成するヒトの脳 **13**

第二節　認知機能と情動機能 ― サカナからヒトまで 13

動物の高等化と神経機能の前方集中化 **13**

認知機能と情動機能 **14**

言語、行為、認知の障害（失語・失行・失認） **15**

調和とコミュニケーション **15**

ゲシュタルトとロゴパトス・パトロゴス **15**

ヒト大脳半球について **16**

第 2 章　　音楽、ヒトの脳と響きの ARS (= τ ε χ ν η) **19**

音楽理論を神経科学の言葉で記述する **19**

第 3 節　脳内に響きわたる音―「語りと歌の演奏」 21

言語野と聴覚連合野 **21**

音楽と言語の結びつき **21**

共感と共鳴の源泉 **22**

言語による芸術創造における高次化 **23**

第 3 章　「言葉」ー 響きは語る **24**

視・聴覚系の表現と運動との結びつき **24**

音楽の響きと言葉の響き **24**

音楽と秩序 **24**

音の伝導と知覚 **25**

聴覚皮質は機能的にどのように区分されているか **25**

聴覚皮質機能と視覚皮質機能の類似と相異 **26**

異なる感覚機能領域が皮質レベルで重複する **26**

第 4 節　視覚と聴覚の関連性・連合性 27

多面的で多様な人間の創造的活動 **27**

ホモ・サピエンス **28**

人間と自然（宇宙）との対応関係 **28**

古代ギリシア以来の言語のリズムと韻律 **28**

聴覚皮質に入力された視覚情報 **29**

視覚障害者と聴覚障害者の脳にみられた可変性 **30**

脳の柔軟な性質 **30**

人間の視・聴覚分析はカメラやレコーダーとは異なる **31**

小脳にも視・聴覚野がある **31**

ファウスト (F) とメフィスト (M) の対話 **31**

中脳における視・聴覚運動性入力信号の役割 **32**

視・聴覚ニューロンの類似点・相補性 33
聴覚皮質機能の動物実験 33
音と色 34
視・聴覚と情動との関連 34
皮質連合野と扁桃体 34
ヘシェル回と側頭平面 35
失聴後のベートーヴェンが体験した内聴と響き 35
絶対音感と相対音感 36
再び視覚と聴覚の類縁性 36
視覚情報と聴覚情報の統合が前頭前野で起こる 39
音楽・美術における視・聴覚間の共通性 39
ギリシア的創造論とキリスト教の創造論 40
認知機能と動的神経回路網 40
第 4 章　能動的表現と高次神経活動―運動、認知、情動、意欲、記憶など 42
調和のとれた運動 42
感覚情報の流れ 42
後連合野内の階層性 42
5 節　線条体（尾状核と被殻）と運動 43
錐体路と錐体外路 43
古典的運動の概念を「中傷」する線条体 43
6 節　高次運動野の機能 44
運動前野と前頭眼野 44
運動野と補足運動野 45
なぜ複数の運動野が必要なのか 45
音楽における「運動」 46
情動と運動との結びつき 46
運動系と辺縁系の接点：「意欲、βουλη」 47
意思決定と頭の切り替え 47
7 節　背側神経路と腹側神経路－視覚系と聴覚系 48
「where」と「what」の二つの経路 48
対象の空間的配置と形象の認知 48
聴覚系処理過程についての難しい論議 49
ブレイン・イメージング 50
視・聴覚間から運動空間への写像変換 50
前頭前野で状況 / 文脈に応じて情報が処理される 50
芸術鑑賞とウェルニッケ野 51
受動性と能動性 51
数に関する情報 51
数・音・語 52
虚数の世界、エトセトラ 53
8 節　前頭前野と高次運動野－能動性 54
前頭前野のニューロンはその意味内容に反応する 54
感覚・運動の情報処理のまとめ 54
Go / No-go 弁別テストの行動的意味 54
何をしてはいけないか 56
ストループ効果 56

情報処理のまとめ 57
行動決定に至るまでの脳内活動 57
9節　高等霊長類の精神活動―知と情と意 57
「響き」に内在する運動 57
ロゴスとパトス ― その形態的基盤 58
並列的情報処理に関わるシステム回路 59
パラレル・ニューラル・ネットワーク（彦坂） 60
大脳基底核のはたらき―古くて新しい視点 60
10節　ワーキングメモリー 61
演奏（精神活動の外化）とワーキングメモリー遂行中の脳内活動 62
言語に関係する反応ニューロンは大脳皮質内に広く存在する 62
第5章　音と言葉と形象 66
11節　言語と音楽 66
言語の意味処理と音韻処理はどのように選別されるのか 66
言語に共通した普遍性 66
デジタル信号のアナログ化 67
サルとヒトの認知情報の処理機構 68
事象関連電位を用いて調べた言語と音楽の関係 68
12節　古典的言語野：ウェルニッケ野とブローカ野 69
ヒトの大脳「島」皮質 70
「古典的」言語野の再検討 70
13節　Fm θについて 70
知的活動、音楽活動、宗教的瞑想のときなどに見られる Fmθ 波 70
Fm θ波の発生源 71
人間の高次精神機能 71
言語における「子音」と音楽における「休符」の意味の類似 72
14節　発声機構の発達 72
発声器官とそれに関わる筋肉と神経の発達 72
母音と子音の組み合わせで作られるヒトの音声 72
サカナからカエル、サルからヒトへの進化 72
言語関連領野の発達 73
脳機能発達における臨界期 73
15節　外的響きと内的響き 74
内的響きの神経機構 74
数秘術とバッハ 76
音と色とアクションの総合芸術（オペラ） 76
ヒト前頭葉の最前部が関わる精神機能 77
第6章　音と光に関する考察 80
波動説・粒子説・光量子説 80
見える世界と思索で捉えられる世界 81
視覚と聴覚―思考と身体調整 81
文字の発明、「響き」を書く 81
ミサの音楽 82
動物の脳は進化する 82
16節　視覚について 83
網膜 83

外側膝状体 83
視覚皮質 84
霊長類の視覚領皮質 87
17 節　聴覚について 87
聴覚受容器 87
聴覚伝導路の構成 88
下丘 88
内側膝状体 89
聴覚皮質 89
聴覚情報は視覚情報とどこがどのように違うか 90
第 7 章　　ゲシュタルト 認識と脳の活動 92
18 節　視覚のゲシュタルト 92
「科学の目」で考察する心理学 92
ゲシュタルト再考 ― コンポジションとその形態的基盤 92
19 節　聴覚のゲシュタルト 93
聴覚系も「つながり」と「切れ目」を再構成する 93
ゲシュタルトの形式の特徴 94
自然界の響きと調和 94
ハルモニア（α ρ μ ο ν ι α） 95
20 節　ゲシュタルトの脳内基盤 95
感覚から運動への座標変換 95
To go, or not to go, that is the question 95
情動と思考の一体化（パトロゴス） 95
第 8 章　情動発現の脳内機構－新皮質と辺縁系 97
21 節　海馬と扁桃体－情動・記憶 97
嗅覚、てんかん、記憶―未知なる皮質の原型 97
海馬の構造と機能 98
扁桃体の八面六臂の働き 98
大脳辺縁系の俯瞰と神経連絡 99
海馬体の入・出力 100
海馬の trisynaptic 神経回路と記憶 101
ペーペッツの回路とヤコブレフの回路 102
クリューバー・ビューシー症候群 103
恐怖条件づけ 104
情動の記憶 104
扁桃体への入力系 104
動物的情念と高尚な情感 104
分界条（扁桃体の情報を視床下部へ伝える経路） 105
嗅覚や味覚の情報も扁桃体が処理する 105
てんかん研究の歴史 106
ニューロンの新生（よく学び、よく遊べ） 107
22 節　感情と気質－クレッチマー 107
意識、欲求、情動 107
情動性の概念（情動、感情、気分、気質） 107
「氏 (nature)」vs「育ち (nurture)」 108
23 節　ドーパミン 108

中脳にある A9 ニューロン群と A10 ニューロン群 108
目立たなかった側坐核 108
ドーパミン受容体と精神疾患 109
24 節　セロトニン 109
脳幹の正中部にある縫線核 109
低セロトニン症候群（攻撃、衝動、自殺） 109
25 節　視床下部ペプチドニューロン系と情動機能 111
内分泌系・自律神経系の最高中枢 111
視床下部ホルモンと下垂体ホルモン 111
性行動と性差 112
摂食調節の神経回路 112
多様な視床下部のはたらき 114
26 節　ファゴスとエロス 116
食欲、性欲、生存欲 116
業か煩悩か 116
自律調節的機能を知的活動に高める 116
神経性伝達と体液性伝達 116
動物の行動を支配する視床下部 117
うつ病・自閉症・パニック障害 117
27 節　情動機能の進化 117
コミュニケーションの手段としての発声器官の精緻化 117
楽器としての発声器官 118
動物界や人間の原始社会にみる芸術の原型 118
28 節　精神活動としての情動機能に関するいくつかの問題 118
情動と認知の一体化にふみこんだ研究の重要性 118
生物学的共通の基盤に立ったヒトにおける情動機能の研究 119
「脳と心」の科学的研究 119
29 節　マクリーンの「三位一体脳仮説」 119
原始爬虫類脳 119
旧哺乳類脳 120
新哺乳類脳 120
30 節　動物にみられる情動発現－サカナ・トリからネコ・ヒトまで 121
カナリヤの歌 121
メダカの学校 122
キメラ作成実験による鳥の鳴き声の解析 122
げっ歯類の扁桃体のはたらきと形態異常 122
大脳皮質の高等化と情動機能 123
ヒト大脳皮質の「領域化」と「層状化」 124
ロゴスとパトスの融合―病的なものと芸術的なもの 125
31 節　音　楽療法 125
人間と自然との調和－ミクロコスモスとマクロコスモス 125
音楽　の法則・数の秩序 126
「ゆらぎ」あるいは「1 / f ゆらぎ」 127
レコード・CD・生演奏 128
秩序とゆらぎのある音楽 128
身体のリズムと宇宙のリズム 128
第９章　　リズム／テンポのズレとその調和 131

32 節　サーカディアンリズム (概日リズム) 131
環境シグナルによる昼夜リズムの修正 131
体内時計の乱れと回復 131
リズム遺伝子 132
「もっと光を」 132
33 節　睡眠と覚醒のリズム 132
「原始睡眠」から「睡眠」への発展・進化―大脳皮質の発達 132
脳波（脳内ニューロンの電気活動） 132
覚醒、徐波睡眠（ノンレム睡眠）、逆説睡眠（レム睡眠） 133
パブロフの睡眠学説 134
覚醒から自己意識まで 134
エコノモやブレーマーの中枢説 134
モルツイーとマグーンの脳幹網様体賦活系 134
ジュヴェのモノアミン睡眠説 135
睡眠研究と睡眠障害に対する光療法 135
34 節　生のリズムと環境と「ズレ」 135
「ズレ」を感じる感性 135
錯視 136
錯聴 136
幻覚 137
内聴 138
35 節　歩行のリズム 138
ヒトの脳のもつ「ズレ」の修正機構 138
古代ギリシア語の朗誦に歩行用語が採用されている 139
中脳の歩行ジェネレーターとその活動 139
36 節　小脳の構造と機能　― そのリズミカルな運動と思考作用 140
小脳の構造と線維結合 140
脊髄小脳 141
橋核小脳 141
小脳の生理学とその病理 141
登上線維と苔状線維 142
オリーブ小脳路 142
橋核小脳路 143
小脳出力系 ―上行性と下行性 144
光源や音源を同定するニューロン 144
リズムとテンポの調節機構 144
ヴァーチャル運動のイメージング 145
長期抑圧（LTD）と学習機構 145
小脳の制御作用 145
小脳の運動および思考モデル 145
「体」で覚える記憶 146
小脳の機能は「古典的な」運動機能の制御だけではない 146
小脳の認知機能と情動機能 147
小脳にはさまざまな機能の興奮性入力がみられる 147
小脳の思考モデル（伊藤） 148
小脳・大脳関連ループ 148
「いつ」「何を」どのタイミングで行なうか 149

「メトリカル」なリズムと「ノンメトリカル」なリズム 149
新奇なリズムと耳慣れたリズム（小脳後葉と小脳前葉） 150
小脳系・線条体系・大脳皮質運動系 150
37 節　音楽と言葉におけるリズムの規則性 150
調和のとれたリズム（例；　１：２：４） 150
非調和なリズム（例；　1：2.5：3.5） 151
脳と音楽のリズム 151
左右の脳とリズム系 151
演奏者の右手と左手の役割 152
リズムにおける時間面と空間性 154
言語と音楽 155
音程のゆらぎ 156
美しい響きをもつ不協和音 156
38 節　　運動の「ゲシュタルト」―運動・意欲・評価 156
総体としてみた運動発現のシステム 156
視空間認知に価値判断（動機）がリンクし、大脳基底核が関与して運動系へ変換される 157
報酬期待時における前頭前野ニューロンと大脳基底核ニューロンの活動性の違い 157
情動報酬系が大脳皮質言語系の段階にまで進む 157
随意運動系と不随意運動系に認知・情動系を包括する「運動のゲシュタルト」 158
教師ありの学習と強化学習の補完作用 159
多重表現仮説 159
演奏家の脳がもつ自動修正機構 160
39 節　宇宙のリズムと天空の調和 161
異なる二つのリズム体系を相互に補完する人間の脳 161
「右」の優位性思考 161
宇宙の法則を映し出す詩のリズム ― 古代ギリシアからエリザベス朝まで 161
リズムにおける「ゆらぎ」と「正しさ」 161
言語学的考察（秩序、尺度、ars、modus） 162
数比例が作り出す宇宙の秩序 162
音楽における modus（節度ある整った状態） 163
人間の四声（ソプラノ、アルト、テノール、バス）と宇宙の四元素（火、空気、水、土）―ルネサンス期の音楽 163
脳全体の活動（知・情・意の統一） 163
新たな思考の飛躍 164
第１０章　　高次神経活動と精神医学 166
40 節　後連合野（認知機能）から前連合野（能動性機能）へ 166
前頭前野への求心路（図６７） 166
STS 域から前頭前野への投射 166
外界から入る種々の感覚情報が後連合野で分析される 167
視・聴覚空間の認知―背側経路 167
背側経路と腹側経路（広義） 168
情動が結びつく腹側経路 168
41 節　　前連合野から後連合野へ―連想（連続的想起）・内的響き・言語化 169
前頭前野からの遠心路（図６９） 169
前連合野と後連合野の間の密なる連携 169
記憶想起の引き金となる前頭前野から側頭葉へのインプット（宮下） 170
「私は覚えているはず、キット想い出す！」（FOK） 170

順序づけられた音の連想作用 170
前頭前野のもつ能動的統合機能―サルからヒトへの進化 170
あらためて前頭葉の機能は？ 171
ネコとサルにみられる連合線維の構成を比較する 171
ヒトの前頭葉 172
42 節　音楽を演奏する際の脳内活動 172
内的形象のイメージを位置づける 172
演奏―内聴の響きをイメージして運動化する 173
共通性と一回性の相互浸透 173
石塊の中に形を予見するミケランジェロ 173
ベートーヴェンの創作スケッチ 173
音楽・言語・情動 174
「芸術の回廊」はどのように成熟するのだろうか？ 174
43 節　分割された脳と分離された精神 175
機能的結合の解離・離断 175
皮質・皮質下間の分割（①の考察） 176
左右半球間の分割（②の考察） 176
１．脳幹における左右連絡 176
２．前脳（終脳と間脳）における左右結合 176
３．脳梁切断 176
４．半球の特殊化（ラテラリゼーション） 177
５．ヒトの右半球と左半球 178
６．左右半球間の機能上の相異 178
７．Harmonic 音 と inharmonic 音に振り分ける機構（角田） 179
能動脳と受動脳の間の分割（③ の考察） 180
精神医学的考察 180
44 節　統合失調症の動物モデル 180
ドーパミン受容体の過敏状態の形成 180
ドーパミン神経伝達の亢進（陽性症状）とグルタミン酸神経伝達の低下（陰性症状） 181
統合失調症の神経発達障害仮説 181
発達依存的に抗精神病薬に応答する遺伝子の検索 181
臨床精神医学―ヒトの高次神経活動とその異常（とくに精神病）の治療に関して 182
45 節　統合失調症にみられる「ファントム理論」と症状形成機構 183
「パタンの逆転」（安永） 183
受動的体制化と能動的体制化（鹿島） 183
46 節　統合失調症者において「瞬間意識」内に起こる現象（臺） 184
統合失調症患者の言動にみられる 25 ～ 50 ミリ秒の遅れに注目 184
「瞬間意識」― 時間に依存する運動と知覚 184
霊長類の視覚系における刺激伝達時間 185
「瞬間意識」の精神生理学的考察 185
「妄想・幻覚」状態の脳内機制（仮説） 186
47 節　統合失調症についての若干の知見と考察 186
精神医学を神経科学と結びつける試み 186
再説「前頭葉から後連合野へ」の投射の機能的意義 187
神経結合の研究の未来 188
意識と前頭葉ニューロン 188
「側頭葉二段階発症仮説」（倉知） 189

ファウストの独白（モノローグ）190
中枢神経系を３つのまとまりとして理解する 190
ジャクソンの「階層理論」191
新ジャクソニズム（H. エイ）191
第１１章　心身問題と条件反射 192
48 節　精神か物質か 192
脳という物質、その機能産物の総体としての精神 192
弁証法的考察 192
49 節　シェリントンやエックルスの脳理解 193
心的エネルギー、第三世界への「連絡脳」193
50 節　セーチェノフやパブロフの脳理解 193
「脳の反射」―神をも怖れぬ書物 193
デカルトの自然観 194
「不可知論」に対して 194
条件反射（パブロフ）195
51 節　サルからヒトへの進化 195
言語信号系とパブロフの条件反射第二信号系 195
人類の誕生、共同社会、言語の発生 195
サルの脳とヒトの脳を連合線維の構成から考察する 196
コミュニケーション手段の発達 196
音声言語と文字言語 197
子供の言語習得 198
情動と理性と概念形成 198
言語の起源論 ― ダーウィン、ルソー、マルクス 199
「サルが人間化するにあたっての労働の役割」（エンゲルス）199
52 節　子供の脳の発達と自我の獲得 199
子供の精神発達と脳の髄鞘化の完成（思春期）199
神経回路網の形成 200
「発達の最近接領域」（ヴィゴーツキー）200
自己とのコミュニケーション（内言語）201
自我の確立 201
53 節　ヒトの脳と精神の科学 201
脳の発達の研究は精神病の発症の解明につながる 201
54 節　パブロフの実験神経症および精神疾患に関する研究 202
神経系の型の分類の基準：「強さ」「平衡性」「易動性」202
人間の気質とその分類 203
実験的神経症研究の発想とそれに対する評価（内村）203
動物と人間の病的状態を比較する際に注意すべき点 204
「芸術家型」と「思索家型」204
精神科診療に従事した晩年のパブロフ 205
パブロフによる精神疾患の分析 206
第１２章　脳と精神の科学の発展と諸問題 208
55 節　近世科学史上の幾つかのでき事 208
わが国の精神病の治療の歴史―精神病者は罪人ではない 208
クレペリンの功績 208
２０世紀前半の科学の進歩 208

56 節　１８－ 20 世紀における音楽・美術―精神文化の新たな局面 209
ルネサンス時代 209
近代への歩み 209
57 節　自我の形成と精神面の動揺 210
自我形成期の脳の発達 210
精神活動が乱れやすい時期 211
自己同一性の形成と障害 211
生活のリズムの乱れ 211
アセチルコリン系へのリンクとアミン系－再訪 212
「内面の他者」の発見 213
58 節　医療と教育―思春期の危機 213
犯罪と生命の尊厳 213
社会環境のゆがみ 214
豊かな情操教育 214
59 節　社会史的動物としての人間の脳 214
動物進化と脳の発展 214
サル、チンパンジー、ヒト 215
原始社会にみられるコミュニケーション 215
豊かな発達を目指した科学的教育 215
60 節　　生命への畏敬（シュワイツァー）－人間の高められた精神 216
「生命に囲まれた生命」 216
シュワイツァーの愛したバッハの音楽 216
シュワイツァーからのメッセージ 217
61 節　脳と精神はどこで出会うか 218
動物の情動と人間の情動 218
精神病は不自由病である（臺）―　その制約を取り払う努力 219
脳科学研究の成果を精神医学へ適用する 220
ヒトの脳の創造的な精神活動 220
第１３章　　エピローグ (Epilogue)、記：丸山桂介氏に感謝する 222
謝辞とお願い 223
文献 225
“RESUME”　(Résumé) 254

第１章　　はじめに　―脳と精神・素描―

Der Ewige Frühling/Eternal Springtime. 1884

第１章　永遠の春（Auguste Rodin, 1840-1917）
自然を師とせよ。巨匠とは、あらゆる人々が既に見たところを、自らの眼で熟視する人々である。

第一節　脳と精神は不可分である

脳の活動の所産としての精神

物質としての「脳」についての探究は自然科学的で実証的でなければならず、認知・情動・意志・意欲など脳の多面的機能の総合的産物として捉えられる「精神」の活動についての探求は多分に思索を必要とする。また、一見逆説的にこれを捉えて、脳の研究はより思索的に、精神の科学はより科学的であるべきである。脳の科学は生物学的・医学的であるのに対して、脳の活動の所産である精神への思索は人の姿を問わせる。脳の科学、すなわち高次神経活動の究明は同時に「人間とは何か」、という問いをめぐっての知的探求と不可分である。

生物学的「ヒト」と社会史的「人間」

ヒトの脳を系統発生学的立場から見たとき、脳の発達の歴史を眺めることによって、人間が他の動物と生物学的に連続した存在であると同時に、彼らとは質的に異なる発達を遂げた動物として、その存在を「人間」たらしめてきたことが明らかになる。他の動物との差異は、脳の器官に、またその器官による言語活動や種々の芸術表現活動といった、いわゆる精神活動に際立ってみられる。すなわち他の動物の脳との差異を構造的、機能的に調べることでこれはかなり明らかにされるであろう。たとえば精神活動を支える意識の問題にしても、明らかに「動物にも意識はある」にもかかわらず、進化の過程の中で生物学的発展を経て、感覚器官、末梢神経系、中枢神経系の形成に基づいた心理学的活動を発展させることによって、人間は人間としての存在の場を作り出してきた。こうした立場から人間と他の動物を捉え、脳研究者として「人間」を考察するに当たって、必然的に、とりわけ意識の成立を生物学的・自然史的に捉えることが重要になり、脳の科学的・実証的研究と不可分に、人間の意識の内に広い意味で包含される思考とか精神の形成や、抽象概念形成の基盤となる言語の発生などの問題が、本書の中で考察の対象とされることになった。

一方、このように発展史的にみた場合、意識、意志、言語なるものは、自然と社会、ないしは他者との対峙の産物として、自己と対している世界およびそれに対する個々の思考とその伝達、コミュニティ社会の中での共同作業（道具を作り、それを用いる労働）などの反映として成立してきた。本書において脳の研究を土台にして心 / 精神の問題にアプローチできる根拠もまた、こうした社会史的人間の発展そのものが脳の機能の発展を促した点に存在する。

高次神経活動の研究

われわれは現在、動物実験に裏付けられた豊富なデータを持っている。しかし、ヒトを対象にした脳の高次機能についての知識は、自然の実験と言われる発病による症状の観察にほとんどが限られるため非常に少ない。ヒトの脳に関する侵襲的実験は倫理的に許されない。それゆえ、ヒトの高次神経活動の所産、すなわち、認知機能、情動機能などの精神活動について考察する際には、動物実験のデータに依拠せざるを得ないことになる。

ごく最近、１９９０年代に入ってから、ヒトの精神活動時における脳の活動状態を非侵襲的に、すなわち傷害を与えることなしに、種々の画像解析装置（fMRI, PET, MEG、後述）などを用いて脳の構造を立体的に可視化（ヴィジュアル化）して観察することが可能になり、その結果、ヒトの脳の機能を動的に把握することが可能となった。20 世紀から今世紀にかけてのこうした知識は、単に量の面からみた場合でもそれ以前に比して飛躍的に増大し、同時に、この新たな知識に基づくヒトの脳に関する理解を飛躍的に高めた。その結果、サルやチンパンジーの脳と比較して、新皮質が著しく増大し質的に発展を遂げたヒトの脳の働き（精神活動）について、かなりの程度にまで科学的に研究を進めることができるようになった。そして今日では、かつての現象学的精神病理学の範疇をはるかに超えて、ヒトの精神医学に関する領域は開拓されつつある。

脳科学研究のスローガン

現在、わが国では、脳科学の研究を推進する目的で、脳を知る（脳の働きを解明する）、脳を守る（「精神」を

含む脳の病気を克服する)、脳を創る（脳をモデルとしたコンピュータを開発する)、脳を育む（正常の脳の成長発達を助ける）という四本柱のスローガンが「脳の世紀推進会議」と呼ばれる組織によって掲げられ研究されている。ここで脳と精神の領域について、二つの主要なポイントがそこに浮かび上がる。

ひとつは「脳」の科学としての高次神経活動の科学と「精神」の病理学とが深く結びついている点であり、いまひとつは、そのような病理学的側面と深く関わり合いながら、ヒトの脳の正常な働きの中で何がヒトの脳によって可能とされたかについての領域をめぐる研究の成果である。ここで、知の体系である哲学の側から問題を科学的に捉えることによって、脳の研究は新たに進展する。

精神は脳を離れて超越したものではない

脳と精神が一見分離して存在するもののように思われたり、脳は物質ないしは単なる器官であり、精神は物質を離れた超越的なものであると考えられたりするのは単なる便宜的誤解に過ぎない。つまり、哲学のような人間の精神活動の最高の所産に位置づけられるものでさえ、ヒトの脳の働きによってこれがなされる以外に人間は他の方法を持たないのである。察するに、現在の脳に関する医学的・生理学的アプローチが、脳と呼ばれるものを形作っている個々の部分、個々の器官の研究に終始して、それらの器官が総合されて何が生み出されるかの点についての見通しに比較的に暗いが故に、器官としての脳とは分離して見える精神の存在がかえって強く意識されることになったのであろう。

脳の科学は物質から構成される器官としての脳と、この器官の働きとしての知的・精神的活動との両面に関わらねばならない。このとき、まず第一に認められねばならないのは、知識の累積と知識の総合とは質的に異なるものであるという前提である。実験データに基づく客観的かつ具体的知識はあらゆる科学にとって第一の基盤であることは当然であるが、単なる個々の知識の累積にとどまることなく、その知識を総合し、そこから物の本質を掴み取らなければならない。

しかし、研究の初期においては、個々の対象を、ひとまず、変化せず固定したものとしておいてしばしば研究が進められる。この過程を経て、個々の研究がある一定の段階に進展した場合には、学問全体を総合的に理解することが必要である。とくにヒトの精神の問題を対象とするとき、この過程は不可欠である。なぜなら、知識の総合が個々のデータの中に蔵されていながらも、個々のデータを関連の中で捉えずにそれだけの問題にしているだけでは容易に捉えられないものを人間に発見させるからである。

自己をとりまく世界を統合的に捉える

世界は自己と他の関係によって捉えられるものであり、生物学的にも精神的にも「自己の存在（＝生存)」を判断する際に決定的役割を果たす要素である。従って、自己をとりまく世界を理解しようとする作業の中からもたらされる、この「世界の発見」への道を閉ざされたとき、人間は何を手がかりに自己を見つめ発見したらよいのかが不明になり、進むべき運動の方向を失って行動を閉ざすことになる。

もしも精神の異常性が、自己の位置づけの困難性という言葉で捉えられるものを含んでいるのであれば、おそらくその深い根はこのような、人間の世界内存在性に根ざしているということにもなるであろう。心・精神の病は一方から見れば人間のひとつの「個」の内的問題である。だが他面から見れば、それはそのような「個」を包み込んでいる「世界」の問題でもある。脳の働きは「正常」であることを超えたときに、病もしくは狂気と呼ばれる症状を呈することになる。人間とは何であるかが問われつつ、進化の過程の中で生物学的存在である「ヒト」が社会的存在としての「人間」と成り、共同社会のなかでの生活を通じて、正常とは何であるかがやがて問われることになる。

高次神経機能の研究

近年、脳磁図または磁気脳画像(magneto-encephalography、MEG) による脳の研究が行なわれるようになったが、これは神経細胞の興奮現象に伴って生ずる脳内の活動電流（これを頭皮表面で捉えた電位信号が脳波である）によって発生する磁界を頭部周囲で計測したものである。興味深いことに、この MEG を用いた脳の研究から、禅僧の瞑想、暗算などの数的思考、ポリフォニー音楽の聴受（音楽傾聴）などの時に、前頭前野を中心にして Fm θ 波が形成されることが明らかにされた(後出、13 節　参照)。

ここにみる宗教的瞑想＝心の救いへの思索、数的思考＝代数にみられるような抽象的数秩序、あるいは古代ギリシアのピタゴラス以来の定義である宇宙の（数比例による）法則、およびその法則・秩序の具体化でもある、音楽を形成させている響きの（数比例による）法則・秩序をめぐる思索、こうした自己を取り巻く、つまりは社会・宇宙の存在とその中に生きる自己という人間の存在

についての思索こそ、ヒトの脳の高次機能の働きによってはじめて可能とされる脳機能＝精神の不可分の一体性を証するものであると言えよう。Fm θ 波はそれ自体は確かに一連の波に過ぎないが、しかしこの波を軸に、脳の形態的進化の点からして指摘される、前頭前野から頂頭葉にかけての高次神経機能に、人間としての高次の機能、精神の働きが備わっていることが明らかにされる方向に進んでいるように思われる。

生命への畏敬と平和の問題

シュワイツァー (1875 － 1965) は学問と芸術における名声と名誉を捨てて、アフリカの原生林に病院を開き、医療を行ないつつ命あるものの存在についての思索を深めた。そこで博士が訴えたものは「生命への畏敬 (veneratio vitae)」の念であり、「生きんとする意志」の発見であった。それが彼の思想的立場の根底になっている。彼は生命を奪い合う戦争を憎み、とくに何十万の無辜の一般市民を一瞬にして殺傷した原子爆弾は「生命への畏敬」にもとる最大の悪であると弾劾し、核兵器反対のために立ち上がる準備をしていた。晩年のシュワイツァーの机の上には核に関する資料が山と積まれてあった [高橋、1975]。1954 年 11 月にシュワイツァーはオスロで「現代における平和の問題」と題するノーベル記念講演を行なった。情動、意志、認知を主体とする高次脳機能が発揮する「人間の精神とは何か」が問われるとき、かつまた遺伝子工学によって人間の存在そのものが物質化されるやも知れぬ危機の時代に思いを至すとき、われわれはシュワイツァーの生涯とその行為を思い浮かべる必要がある。

人間を形成するヒトの脳

脳の探求は人間に関する探究と軌を一にする。人間はその長い歴史を通じて人間について種々の視点から探求してきた。その探求の道のひとつである哲学・倫理学の道をさらに歩み続けてこの探求を継承させて行くことも可能である。しかし人間の知的探求が常に新たな視野を求め開き、この新たな知を旧来の知の体系にと対応させることによって新たな知の体系をまとめ上げてきたように、いまは脳の科学を新たな視座として人間を眺めるときであるように思われる。おそらく、この脳科学をベースとした視点によって、人間に関する新たな知の体系である新たな哲学も成立するであろう。

また、ヒトの脳の活動である高次機能の働きを行動によって具体化させ、ヒトが人間として振る舞う高次の運動機能も並行して捉えられるようになった。人間は考える葦であると共に行動する葦であり、その行動によって生きる生命である。シュワイツァーは、ゲーテが理想とした「内面化された人間でありながら同時に行動する人間」であった。彼の言葉をいま一度引くならば、「生命への畏敬」は、このような意味での、ヒトの脳によってのみ創造される「人間」への畏敬に等しいであろう。

人間を形作るヒトの脳についての記述に際して、認知と情動の二側面から本書では記述が進められている。基本的には、しかしこの二視点はひとつに統合されよう。知と情は、高い山並みがその基底においてひとつに溶け合っているように、本来明確には二分し得ないものだからである。本書では可能な限り、このような一にして二を成す高山の基底と高い山頂の双方を眺めるよう意は用いられた。果してその結果はどのようなものになったであろうか。その判定は読者の判断に任ねるより他に方法はないが、上のような意図を具体化するために脳機能の全体に関する概説、それも重要な事柄への展望から個々の問題点、細部への集中という形で筆は進められた。そして、はじめに脳の高次機能、とくに「知」・「情」（しばしば「意」を含み）と認知、運動の問題が取り上げられることになった。

第二節　認知機能と情動機能 ― サカナからヒトまで

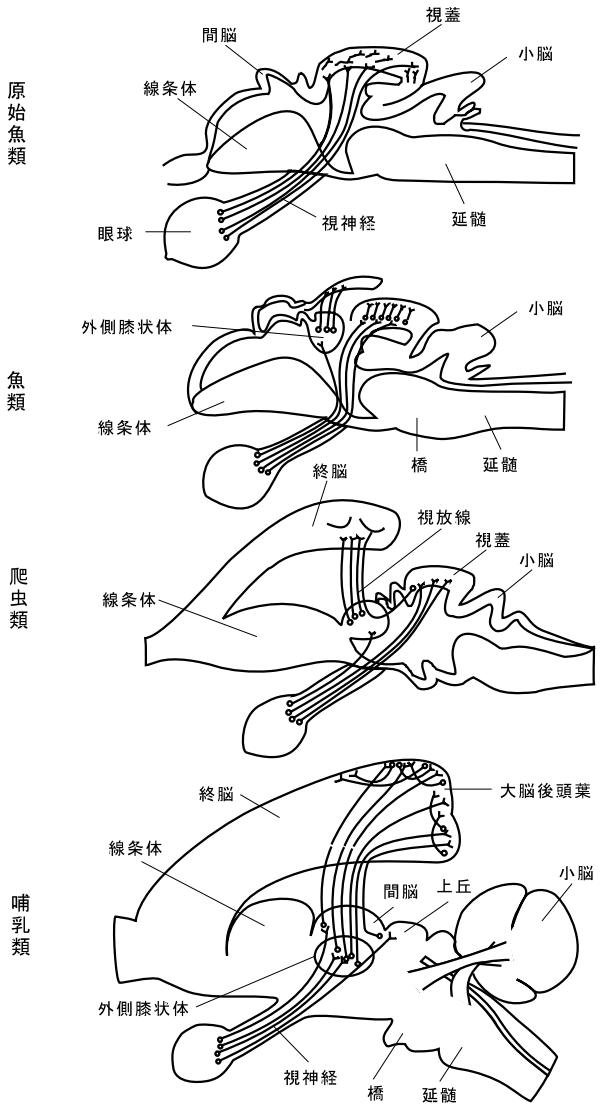
動物の高等化と神経機能の前方集中化

人間の心身の働きは、脳の形態・機能の面からも、あるいは脳を形態学的に捉えた発展の歴史の側面からも同じく検証されなければならない。脳機能について一瞥して明らかなことは、魚では脳幹レベル、両生類では中脳レベル、爬虫類では間脳・辺縁系レベル、哺乳類では大脳レベルと、動物の高等化につれて、中枢神経系の尾方に宿っていた主要な神経系の（作用）機能が次第に前方に移動し、次第に神経（作用）機能が中枢神経系の頭端（＝前方）に集中統一される傾向があることである（図 1 ）。神経（作用）機能の頭端移動の法則（Gesetz der kranialen Wanderung von nervösen Funktionen）[v. Monakow, 1914]　と言われるこの移動は「人間」を生み出す重要な要因のひとつであった。この移動によって、他の動物には備わっていない、いわゆる脳の高次機能の礎石のひとつは置かれたからである。では、脳の高次機能とは何であり、どのように「人間」と関わるのか。そのことが、次のステップとして考察されねばならない。

認知機能と情動機能

脳の高次機能は大別して「認知機能」と意欲を含む「情動機能」に分けられるが、無論のことサカナやカエルといった動物一般にもこの認知・情動機構は備わっている。では何故、同じ認知機能に高次、低次の別は認められるのかと言えば、幾つかの根拠のうちで、とりわけて重要なものとして人間が「ことば」を持ったことがあげられる。やがて後述されるように（１１章）、ロシアの脳科学者パブロフが発見した、条件反射第二信号系、つまりなんらかの事柄を伝達するために、その事柄の全体を別の形象へと鋳直し、それによってその事柄の全体の叙述に代わる記号 =「ことば」によって抽象的・概念的に事柄を認知し、また伝達することができるようになった。この抽象化・概念化こそが脳の高次（認知）機能に必須のものであった。

もっともこのような高次の抽象作用は必ずしも言語領



（図１）図１－２－１：
神経（作用）機能の頭端移動の法則（Monakow, 1914）。視覚系における例。

野に限局されるものではなく、代数という、数や文字記号によって事物の存在や秩序を問う学問や、自然界に内在する無制限の音を抽象してオクターブの８ないし１２の音の点＝響きによる、いわば音の代数としての音楽といったものも同一の第二信号として捉えられるべきものであろう。また同様に、法律といった、実社会を法則化した法秩序の言語も人間の高次脳機能によって可能となったものであり、さらには、こうしたものの一根拠をなす世界や自然、宇宙の法則に関する学問、すなわち人間の思索そのものが、古代ギリシアでは自然学と呼ばれたこともここに記述しておく。

今日では物理（学）と訳される Physik は本来古代ギリシアにおいてはピュシス（Φ？σι？）として、自然や世界、ひいてはそれらを形成する生命を意味していた。生命、生まれ出るものによって形作られる自然や世界を治める法則を見て取ることが本来の Physik であり、その観察の結果を書き記したり説明したりする「ことば」、言語が要するに第二信号だからである。パブロフの指摘した抽象化された言語（機能）に、人間が人間であることへの最も重要な一要素をみることができるであろう。パブロフの論から、脳の高次機能を捉え、そこからさらに人間の全体を見通すことは、今後のわれわれに与えられた重要な作業課題のひとつであろう。ともかくも、こうした抽象化に対して、感覚器官を通じて入った外界からの刺激入力が大脳皮質の第一（次）知覚野（視覚､聴覚､体性感覚など）およびこれとほぼ同一のレベルで反応する発達段階のものはより低次元の感覚的認識（認知）であり、これは広く動物一般に認められるものである。とは言え、低次のものが質的に低次であることを意味するものではないところに、こうした問題の複雑さは存在する。以下にスケッチされる情動の機構においても変わりがなく、むしろ認知の高次・低次の問題はそれ自体が独立の研究対象をなすと同時に、第一・第二信号系の問題に関連づけられて、情動の中に深く根ざした問題として捉えられるのが望ましいであろう。人間は動物であることを忘れてはならないし、脳の器官・機構が歴史的に発展・進化したことが歴史の古層の消滅につながるものでもなく、歴史の古層が現在を支えているのである。脳の中核と外縁さらに新皮質の関係にこのことは正しく対応する。

大脳辺縁系、とくに扁桃体を中心とした情動の機構についても、単に無条件反射的に反応するレベル（魚、両生類）から、大脳皮質が関与する条件反射的（第一信号系の）低レベル認知が関与する生物学的ランクとしての下級～中級哺乳類レベルのもの、さらに第二信号系が関

与するヒト（およびチンパンジー）に近い高等哺乳類レベルにまでいわゆるヒエラルキーが存在する。すなわち、認知機構同様にあらゆる動物に、当然のことながら情動機構が備わっており、しかもその動物のもつ脳の発展段階に応じた発現の仕方で情動は各動物の時々における存在の或る様態を表わす。

ここに動物一般に共通する普遍的側面と、各動物種に特有の個的特性の両面をあわせみることができる。つまり、認知において言語との結びつきがその高次化をもたらしたように、機構そのものは情動においてもあまねく共通していながら、それが他の諸機能と有機的に結びついて「個」を特質づけるネットワークがどのように形成されるかによって情動の場合にも差異は生ずる。しかも、一般的に新皮質よりも辺縁系の働きに大きく依存すると見られている情動機構においても、それが言語機能と結びついたとき、量・質の両面で本質的な差異が生じる。つまり、情動機能は高次の認識機構がその根底にあって情動の基盤をなすときに高レベルの機能を発揮する。

言語、行為、認知の障害（失語・失行・失認）

ヒトの場合、後連合野の中にブロードマンの皮質脳地図番号 39 野、40 野（以下単に 39 野、40 野と略記する）が存在する [Brodmann, 1909]。それぞれ角回、縁上回に相当し、頭頂連合野に属しているが、「感覚性（受動的）言語野」と呼ばれるこの部位の障害によって感覚性失語症が現われる。また、障害をうけると失行症・失認症が現われることから、観念性行為構築の機能を担う領野とみなされており、統括的にあるいは概括的に全体としてまとまった形を造り上げようとする行為に関係する皮質領域と考えられる。

より具体的かつ人間の実際の行動・認知に即して言えば、図や絵画を描くときの全体的バランスの取り方がここに含まれ、また諸物体や諸部分を一個のまとまった形態 (Gestalt、ゲシュタルト) として認知することによって、たとえば絵画を、諸部分の総合された一個の全体として捉えつつ、そのゲシュタルト、すなわち「全体」の意味の認知へと機能するのがこの領野であるということになろう。

調和とコミュニケーション

また聴覚的な面から言えば、単音や複合音、高さの異なる二つ以上の音が同時に響くことによって合成された和音、それも二つ以上の音が一定の、簡潔な比例関係に基づいて和する協和音と、複雑な比例による不協和音、またこの協和・不協和音や旋律などの音が或る一つの音・主音・主和音を中心に統一的にまとまりを形成している音組織としてのいわゆる調性、さらにはこれにリズムの加わった全体的響きとしての音楽（作品）の認知等々がこの領野においてなされる。加えて、言語活動における概念形成という面からみてもこの領野は大切な役割を果している。つまり、この領野の全体が過不足なく働き、総合的に調和の取れた思考の道筋が施行されるに足るだけの能力が獲得されて初めて、人間社会においてコミュニケーションの内容が正しく伝えられる基礎が築かれたことになる。

ゲシュタルトとロゴパトス・パトロゴス

人間は多面的な能力や感性を働かせて「個」としての自己を形成させながら、あわせて社会的存在として他者との共通（理解）の場に立たなければならない存在であり、この共通の、しかも質的な意味での共通の思考の道に立つことによってのみ他者とのコミュニケーション = 一体化 comm・UNIO は達成される。

このような人間の「個」と等しく「ことば」あるいはひとつの単語、「ことば」としての「個」において意味は多層的であり、その多層な意味のいずれをとって「いま」他者への伝達を計るかに脳全体の調和のとれた働きが求められる。このように 39 野、40 野において認知される視覚や聴覚の全体的調和や概念形成、思考伝達までを含めるとき、広い意味での具象化されたもの、すなわちこの感覚性言語野において形成される、たとえば音楽（作品）を構成する個々の要素と、それが総合されて形成される全体的形姿との相関的・同時的認知によってもたらされる一個の全体像 = 音楽（作品）を指して用いられる「形（形式）」= Form ないしは「形態」= ゲシュタルトの意味も了解されよう。

ゲシュタルトは決して外的・表相的な形や姿 = Form を言うのではなく、脳内の諸領野の働きが総合的に収斂されたところに浮かび上がる何らかの事物、事象の存在の形姿に他ならず、いわば概念化・形態化の働きを象徴するロゴス（言語・理性）と、存在の形姿の色合いや陰影を織りなすパトス（感情・情緒・情動）の調和・融合と呼んで然るべきものである。造語を用いれば logopathos・pathologos の醸成が存在の形姿をとったものとしてゲシュタルトの概念は捉えられて然るべきであろう。 形態学的に言うと 39 野、40 野は体性知覚連合野が在る頭頂葉、視覚連合野が在る後頭葉、および聴覚連合野が在る側頭葉が接し合い「せめぎ合って」「融合・統合されている」領域である。ここに受動的または感覚性の言語野が存在することは、自然界の物質の「反映」

として捉え得る、感覚、知覚、認知、認識の問題を進化論的立場から論じる上で重要な点となる（後述、3 節）。

以上を要して最も大事な点は、形態学的に捉えて大脳辺縁系と密接に関連している場所、すなわち、側頭葉前部と眼窩面前頭葉が鉤状束 (fasciculus uncinatus) と呼ばれる連合線維の束によって強く結合されていること、および皮質言語野が上縦束や下縦束という長連合線維束によって他の皮質領域と密接に結びつけられていることが、最近のヒトの脳画像研究によっても明らかにされた点である [Catani et al., 2002]。

しかも発展的進化の歴史からしてヒトの脳内にはこの結合をもたらした形態的基層・基盤の存在が認められる。このことは、非常に重要な意味をもつ。すなわち、ヒトとしての脳に発達するまでの間に条件反射の第二信号系、すなわち、言語系条件反射が形成され得る条件が充分に熟していたということである。

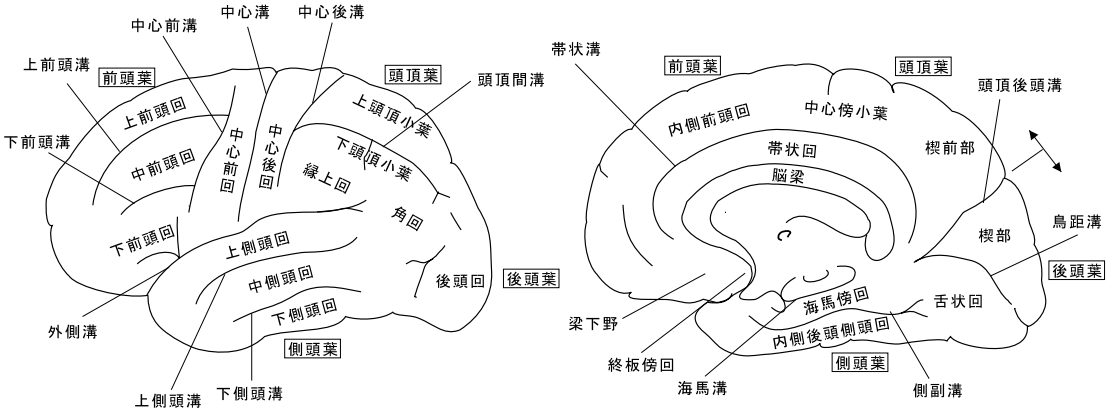
歴史にしばしば同様の事柄がみられるように、小さな一歩の飛躍が量的発展につながり、質の転換をもたらして人間への発展・進化の道を進むことになったことを、この事実は告げている。と同時に、そこには言語・ことばの深い謎が秘められている。ことば、ひとつの単語というゲシュタルトは「いま」、コミュニケーションの場で響きながら、その響きの根をおそらくは無意識的なものにまで深く降ろして最低次の情動を母体としつつ、やがてそこから高次機能へと響き登ることによって形成される「ことば」というゲシュタルトの中にヒトの脳の長大な歴史を映し出させているからである。

これまで、受動的脳活動（passive brain activity）を担っている後連合領野を中心に視点を置いて論じてきたが、これに対して、人間の能動的脳活動（active brain activity）の座である前（頭）連合野（前頭前野）では動的表現をもたらす機能が認められる。動的表現とここで呼ぶのは創造活動を中核とする、人間と社会、広くは人間と世界もしくは宇宙との関わり合いに関する活動を意味する。しかしながら、人間の行動、宇宙への関与には複雑な過程が前提されるのであって、詳しくは後述にゆずってここではごく簡単に記しておく。

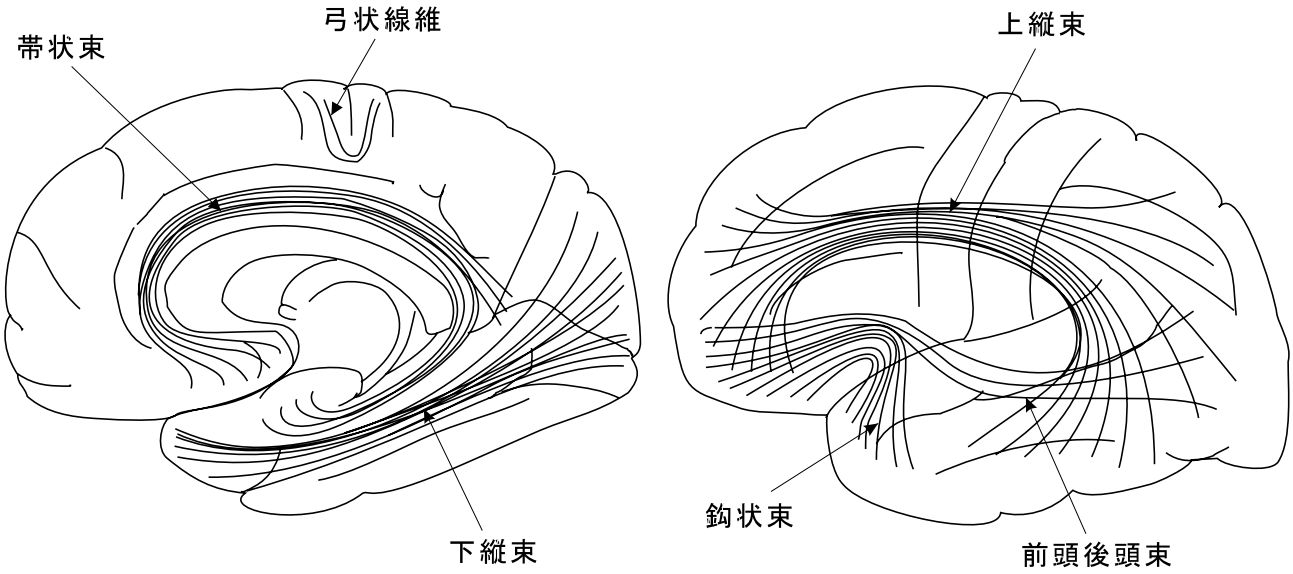
社会・宇宙がまずは人間に働きかけることによって人間の passive な「情動」（パトス）は成立し、その情動の知解、抽象化、概念化の過程において人間の active な、つまり創造的な（ロゴス）の働きは成立する。このときに、たとえば人間の脳の活動が創り出した先の「畏怖すべきもの」なる概念は、自然の力から抽象され、自然の力と共鳴しあいながらも、新たな世界、人間の思索が生み出したゲシュタルト、たとえば宇宙像を成立させる。従って、各々の活動を幾らか強調しつつ特性づけて言うならば、active な活動は創造的であり、passive なそれは何かに動かされて揺れる情動を示すと言える。この両者の総合の中に、前記のように、おそらくヒトの脳の最高の活動領域の所産である哲学や芸術といった創造の華の根は張られている。

ヒト大脳半球について

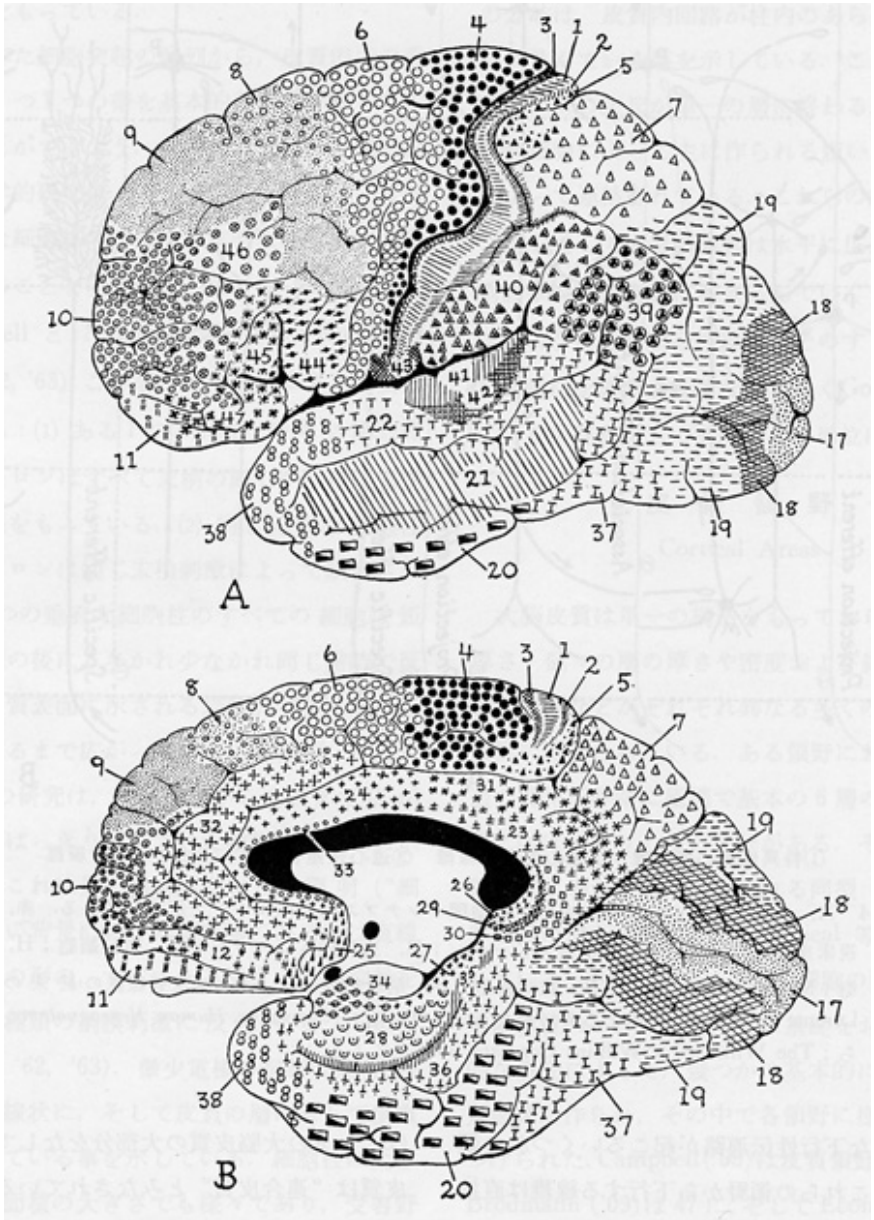
この章の末尾に教科書的なものであるが、ヒトの大脳半球にみられる、形態、線維連絡、領域区分について、一般の読者のためにその名称を図示して掲げる。この書の内容を理解する上で必要なので、以下の模式図でそのイメージを掴んで頂きたい（図２，３，４）。



（図２）図１－２－２：　ヒト大脳半球の脳回と脳溝、左：外側面、右：内側面



（図３）図１－２－３：ヒト大脳半球の長連合神経路、右：外側面、左：内側面



（図４）図１－２－４：ヒト大脳の細胞構築学的皮質領野マップ（Brodmann、1909）、上：外側面、下：内側面

第 2 章　音楽、ヒトの脳と響きの ARS (= τ ε χ ν η)

第 2 章　泣く女 (La femme qui pleure, 1937)(Pablo Ruix y Picasso, 1881-1973)
フォルムは崩されて組み立てられる。フォルムは分解されて積み上げられる。

音楽理論を神経科学の言葉で記述する

形や色などの視空間の物体を主たる対象とする視覚系の研究に比して、刻々と変動する音の流れを時間軸上で瞬時に捉えたものを主たる対象とする聴覚系の研究はこれまで遅れをとってきた。とはいえ、この領域にも機能に即した幾つかの領域は区分される。高等哺乳動物の大脳皮質において、視覚系皮質が V1, V2 さらに細かく区分（V3, V4, TEO, TE, MT, MST, •••）されているように、聴覚系皮質も A1,A2,Ep, あるいは、core(A1, R, RT), belt(CL, ML, AL), parabelt(STGc, CPB, RPB, STGr) [Hackett et al.,1998; Kaas and Hackett, 1999; Kaas et al.,1999] と区別される（後述 、3 節）。今後、実験データの集積に基づいて、ニューロンの働きを検証しつつこれらの領域の区分はより確実なものとなろう。
$（図５）

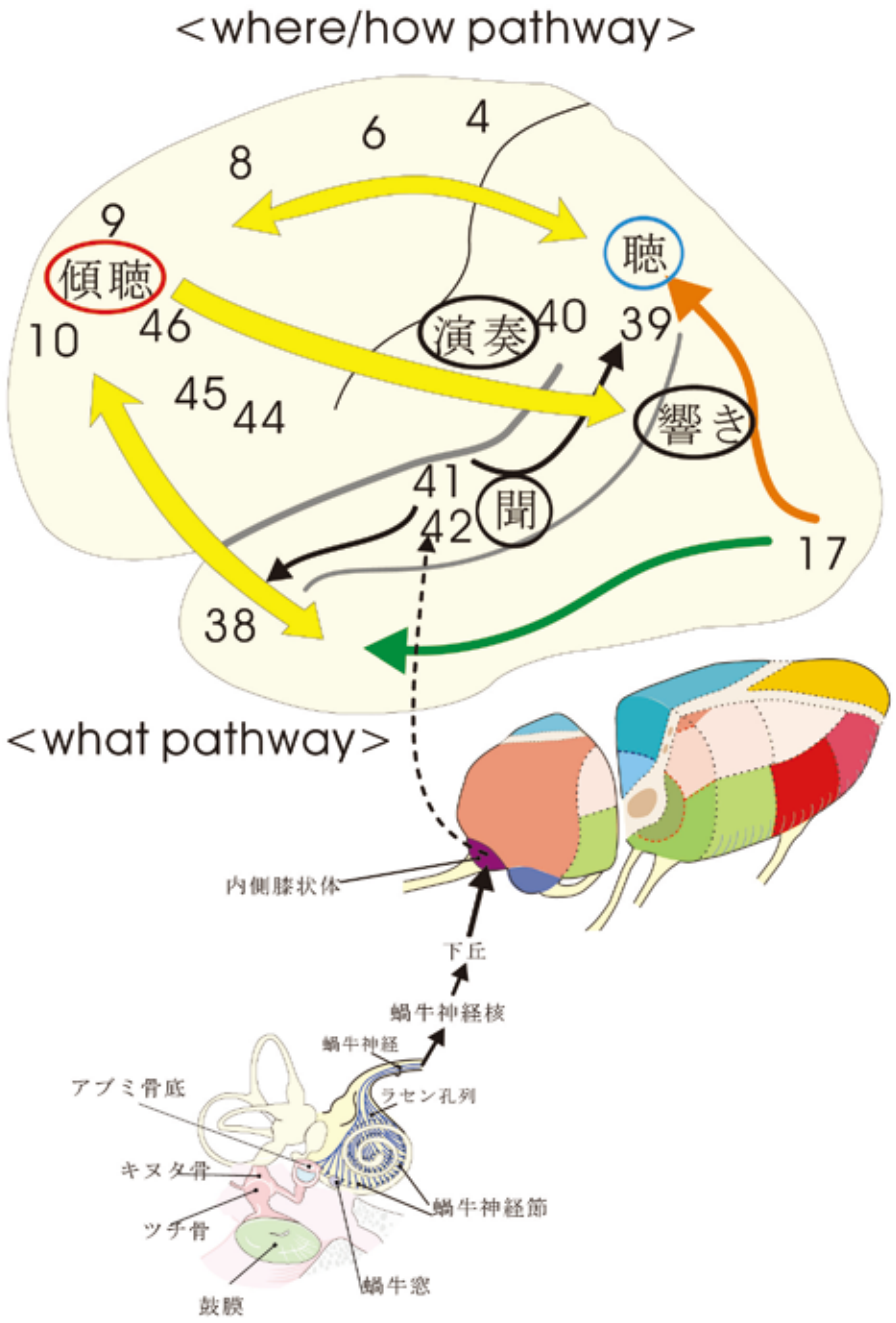
ここに載せた図は、音が脳内を走るとき、そしてわれわれが音楽をエンジョイしているときの脳の働きをイメージして描かれたものである（図５）。本来は脳の働きや音楽の仕組みについての「講義」が展開されたところで提示されるべきものである。しかし、この書は先ず情報を収集して知識を整理してから論を進めるという手法をとってないので、読者はこの絵（図５とその説明文）からまず本論旨の理解を得られ、そのフィーリングを持って、以下に続く「硬い」文章を辛抱してお読み頂きたい。

これまでの研究の蓄積により、視覚においてはなんらかの対象、つまり何か或るものの形態を認識するのに一種のヒエラルキーとも呼ぶ順列をとって、点の表示と消滅、縁、隅、線分などの形態に反応するもの、色や相（texture、物体表面の粗・密などの感じや、手触りなど）や明るさなどの識別、運動方向選択性応答、四角形と三角形の弁別、対象物体の再認、ヒトの顔貌の認知からその意味づけへと、いわば形態素から形態そのものの認識へと順列的に進展する知覚の働きが認められる。

これと同様に、聴覚系においても、解剖・生理学的研究は比較的に相当遅れているとはいえ、単音から和音、協和音と不協和音、異なる調性と転調、フォルテとピアノ、それらの連続系としてのメロディーなど各々の質的に異なる性質をもった音の響きを認識する（神経科学の言葉でいえば、それぞれ個性のあるものに分化して特徴抽出された）ニューロン群が多くの場合、柱状に配列されて特定の皮質部位にまとまって存在していると推量される。それにしても、聴覚器官から入力されて、脳幹、間脳そして大脳皮質へと伝達された連続音の流れを、人間はどのようにして " 音楽 " として認識するのであろうか。聴覚皮質ニューロンの集団は、まとまった機能として、単なる音の知覚ではない特別なゲシュタルト構成の仕組み、すなわち、音楽の知覚的体制化（perceptual organization）と呼ぶべきものを作り出す能力を備えているに違いない。これらの問題、すなわち、知覚的体制化の処理過程について、心理学的研究は行なわれている。阿部（1987, 2002）によれば、脳内において①拍節的体制化（metrical organization、広義にはリズム的体制化）と②調性的体制化（tonal organization）の処理が行なわれているという。わかりやすくたとえて言えば、音響刺激を①は「6/8 拍子」として、②は「ホ長調」として認識するということで、むずかしく言うと、前者は「入力音列の各音の間に時間軸上のゲシュタルトを与える処理」であるとすれば、後者は「入力音列の各音の高さの側面にゲシュタルトを与える処理」と言うことができる（詳しくは、阿部、2002 を参照）。

神経生理学的には、形態的に独立した、、幾つかの特徴のある機能区分が定まっており、これらの機能領域間で互いに作用し合って、聴覚関連の課題が遂行される。これら多数の聴覚皮質内のニューロン群は連合線維によって互いに結合されており、この皮質間線維によっ

て結ばれた神経回路が音楽という音の響きの作用によって passive には「聴受」により、active には演奏などの表現活動、もしくは表現のための運動系への伝達という、passive から active への転換によって活性化されることにより、機能的にもその結合は強化され、より高次の反応形態を持ったニューロン群に伝えられる。こうして、おそらく視覚刺激の認知の場合に同じく音素から音楽へと、一個の全体的形態の認知へと個々のニューロン群の働きは統合されていく。脳内の部位から言えば、これらのプロセスは後連合野内で生起される。そして、これらの脳内の形態的基盤が存在することによってはじめて、単なる音の羅列ではなく、一個の「表現」(ゲシュタルト)



（図５）図２－０：鼓膜で捉えられた空気の振動は、内耳の感覚細胞で神経信号に変換され、脳幹、間脳内をシナプスを換えて大脳皮質に向かって伝達される。その過程で、音を構成する信号の性質は変形され、加工され、そして皮質聴覚野で知覚され、認知 / 認識される。まだ脳科学者は「正確には」答えられないが、① 音を聞く / 聞こえる、② 調べ（旋律）を聴く、③ 音楽を傾聴する、そして④ 楽器を奏でる演奏者（合唱者、指揮者、作曲家を含めて）の脳内の響きのヒトの大脳皮質内の活動領域および聴覚刺激の伝播の有様を「誠実に」推量したのがこの絵である。アラビア数字はブロードマンの皮質領域番号を示す。順序を追って本文中の第 2 － 3 章で説明されるが、ヒトの脳には、言葉を理解する皮質域（39 野、40 野）が後連合野内に、言葉を伝える皮質域（44 野、45 野）が前連合野（＝前頭前野）内にある。「古典的」言語野と呼ばれる領域であり、本模式図中の「響き」は音楽と言語が結びついた響きのことで、両者の融合性と関連性は、聴覚と視覚の連合性とともに考察を試みた。

を形成するべく、意味づけられた連続的な響きとしての音の調べが演奏者から聴衆に伝達されることになろう。その際に或る音表現が聴覚を通じて脳内にどのように働きかけるかは音表現内容や響きの質によって異なる。おそらく、ゆらぎの多い音表現はパトスに働きかけるであろう。これは音楽家がそのように考え、響きを捉えてきたことからも言うことができる。

ルネサンス以降の西欧近代音楽の作曲・演奏表現の礎を確定したと言ってよいであろう、モンテヴェルディ (1567 － 1643) が規定して理性のリズム・魂のリズムに二分してこれを捉えたことがそれをよく証している。おそらく、この二分されたリズム形態を、脳機能の研究 (後述 , 36 節、参照) において明らかにされた、異種リズム形態の聴き分けと結びつけるのは興味深く、また重要であろう 。

第３節　脳内に響きわたる音―「語りと歌の演奏」

言語野と聴覚連合野

外部から響き来る音を聴く際に、ヒトの聴覚皮質内領域で、シナプスを介して興奮が順次、おそらく「機能的階層性」を示しつつ伝達されであろうが、きわめて興味深いのはヒトの脳の後連合野内にあって聴覚連合野の後背部に隣接して感覚性言語野が存在している点である。と言うのもこの感覚性言語野は、誰か或る人間の発した、他者へと響き来る音としての言語を知解する受動性言語野だからである。のみならず、この言語野が視覚性連合野の前方域、体性知覚連合野の腹方域に発達しているという事実が、音楽に関連する領域が脳内で言語機能領域と連合線維によって密接に結びつけられていることを証明するからである。この点に関しては、研究結果に基づいて考察された、ネコとサルとヒトの皮質・皮質間線維結合の比較検討の記述（後出、51 節）および図４２（後出、30 節）を参照されたい。

音楽と言語の結びつき

以下の事例はこの結びつきを具体的に裏付ける、創造活動の領域における歴史的事実である。ルネサンス以降の言語研究を背景に、18 世紀の、とりわけてドイツで体系化された「語る演奏」ないしは「歌う演奏」とも言うべきいわゆる音楽の言語化もしくは言語の音楽化という傾向は脳機能の面からみても、またこの機能による音楽＝言語の結びつきの点からしても必然的であったと言ってよいであろう。イタリアの作曲家モンテヴェルディを初期の頂点とし、彼と同時代に活動したやはりイタリアの作曲家・名演奏家として名高いフレスコバルディによって器楽のジャンルに活用されたこの技法、すなわちチェンバロやヴァイオリンといった器楽によって「ことば」を語り伝えるような響きを作り上げて行く「語り、歌う演奏」は、たとえばフレスコバルディの弟子であったドイツの作曲家・演奏家のフローベルガーからフランスのルイ・クープラン (1626 － 1661) へ、あるいはバッハへと伝えられて行なった。この技法を集大成させたのがバッハの有名な曲集『インヴェンションとシンフォニア』である。またこれに加えて、少なくともヨーロッパの音楽の中心が声楽に置かれていることや、１８世紀から１９世紀にかけての、たとえばモーツァルト (1756 － 1791) のオペラやシューベルト (1797 － 1828) のリートに象徴される言語への傾斜、もしくは音楽と言語の内的一体化に並行する、ヨハン・セバスティアン・バッハ (1685 － 1750) からその子のカール・フィリップ・エマヌエル・バッハ (1714 － 1788) を経てベートーヴェン (1770 － 1827) のピアノ・ソナタに、あるいは、ショパン (1810 － 1849) のピアノ作品に結集されて行く「語り、歌う演奏」の背後にクロプシュトック (1724 － 1803) からシラー (1759 － 1805)、ゲーテ (1749 － 1832) へと伸びて行く文芸、わけても詩の響きの深化とフンボルト (1769 － 1859) やヘルダー (1744 － 1803)、また、作曲・理論家のシャイベ (1708 － 1776) 等によって追求された音楽の言語起源説もこのような脳内の、音楽と言語の各機能の深い結びつきが可能とさせたものであるに違いはなかろう。と同時に、これら人間の創造的働きの全体を貫いて、人間に働きかける神聖なるものへの問いかけを結果させた感覚作用の働きがあったことは注意されてよい。

当然のことながら「聴受」あるいは「音楽傾聴」においてのみならず作曲・演奏においても、脳機能の働きには、先天的および後天的、すなわち教育、訓練、環境要因を大として、個人の当該領域の発達によって差が生じ、やがてこの脳の機能上の差が個人の音楽への理解の差として表われてくる。しかもひとつの言語、ひとつの響き、またその連続性、統一性に、たとえば モーツァルト作品の響きにみられるように、表面的には簡潔でありながらも、その簡潔な響きの中に多層的意味が内在していればいるほど、脳の活動的機能の反映としての理解の差は大きくなる。つまり、言語理解の多様性に等しく、音楽の場合にも、普通には響きに内在する多層的意味のすべてが同時的に聴受されるわけではなく、その中からなんらか特定の意味が聴受・認知されることになる。

共感と共鳴の源泉

このように内的意味の多層性の中から各自によって異なる特定の響きが拾い出され認知されるのは、脳の次のような機能によるからであろう。 つまり、これまで述べてきた新皮質レベルの活動に大脳辺縁系に属する古い皮質および終脳内の核集団（扁桃体や側坐核など）および間脳（とくに視床下部）や中脳ドーパミン系・セロトニン系を含めた皮質下における情動機構の働き方の差に、その差異は起因する。Pathologos（パトロゴス）を根底に持った脳活動としての心、心身の種々の状態を指して言うアフェクトは新皮質から辺縁系や脳幹までも含めて、「人間」という普遍に立ちながらも各自の存在のアイデンティティーを規定する内在的なもの、すなわち言葉や音楽の聴受において、ひとつの響き、ひとつの演奏から「個的なもの」と他者と共通のもの、すなわち「普遍的なもの」を併せて認知する。たとえて言えば、モーツアルトならモーツアルトを聴きながらも、その「モーツアルト」の中に、聴き手によって異なる響き・意味を認知するのである。

このようなヒトの脳の働きがつまりはあまねく「人間」でありながらも各自の存在の特質を作り上げる。と同時に、こうした聴受・認知を構造的かつ本質的に捉えるなら、ほぼ次のようにそれを要約することができるであろう。

近代音楽、つまりルネサンス以降のヨーロッパ音楽の中で応用された、いわば共感・共鳴の考え方によれば、音楽がなんらかの表現を伝える場合にその本質的働きとして認められたのが、いわゆる「癒し」の効果であってconcentus（ sounds blending harmoniously together）つまり演奏者の魂と聴き手の魂とが共感し共鳴して、換言すれば、脳内での活動パタンが伝達されて、同一の動きをとることによってそれは果たされる（＝癒しへと繋がる）ものであるとされた。

ルネサンス期イタリアの哲学者フィチーノを主たる源泉とするこの考え方によれば、人間の「喜怒哀楽」の情は音の動きによって聴き手の魂がゆり動かされることによって生起するものであり、そのためには演奏者自らがその魂の働きを音に託すべく技を身につけなければならず、そのような技によって作り出された音の働きが演奏者と聴き手の魂を同一の情調へと共感・共鳴させるわけで、ここに affectus ＝魂がどのような状態にあるかを問うアフェクト論の根幹をみることができる。

人間の心身の正に全体に働きかけて包み込む響きが、心身の全体によって感受され、かつその全身的・全存在的な共鳴・共振が皮質聴覚野ばかりでなく、脳幹によって、また視床下部を通じて、いわば脳の全体で聴き取られつつ、ひとつのゲシュタルトとしての「表現」形態が作られる。その意味で concentus は体性感覚的・情動的であると同時に知的・理性的なものであり、とくに体性的なものとの関連の中でゲシュタルト化され、さらにこのゲシュタルト化された概念が改めて人間の心身を知的かつ情動的に統括し、それまでの心身の在り方、いわば生き方からの脱皮を促し、新たな心身の状態を作り上げて行くべく教導する。

一個の聞き手の中で生起するこのような脱皮、もしくは「癒し」というアフェクト論の中で、とりわけ注目されるのが後連合野の働きであろう。聴受される響きのキャラクターの差異によって脳内の活動部位が変化し、とくに扁桃体、視床下部の活動による体液の変化によって体調が変化ないしは整えられることになる、それを当時の人々はアフェクト（論）と呼んだのである。ただしこれには長い前史があり、まず哲学と医学の関係の上からプラトンの哲学を人体にあてはめて考察したガレノスの医術をあげることができ、とんでルネサンスのパラケルススの医術論へと至った経緯の中にその一端をみることができる。現在ではルネサンスの哲学者とされるフィチーノが本来医者であったことも古来より哲学と医術が不即不離であったことを物語っている。彼らは哲学者・医術者としてヒトの心身の全体つまり人体（ミクロコスモス）の調和＝癒しと、その「癒し」の典拠としての宇宙（マクロコスモス）の法則との関係を問題にしたわけであるが、こうした関係を医術や占星術としてではなく、音の響きとして追求したのがつまりはルネサンス（バロック）期のアフェクト論による音楽であった。

17・18 世紀への進展の中で音楽もその表現領域を広げたが、依然としてアフェクト論がその根幹をなしたのは言うまでもない。ただし、このアフェクト論はルネサンスに並行する宗教改革の中で教会音楽にあてはめられて宗教的魂の教導の問題へと変化し、とくに１８世紀中葉以降のドイツにおいて人間の道徳教育に応用されてその旨とするところを変えたとは言える。同時に、ルネサンス以降の文学、わけても詩の発展と軌を一にして音楽は言語との結びつきを一層深め、たとえばモーツァルトのオペラが一典型を示すように、歌のテキストが人間の理性と結びついて概念を伝え、その同じテキストに内在する情調、いわば喜怒哀楽の情感をオーケストラ・器楽が表明して知と情の一体を成す優れて人間的な芸術が成立するに至ったのである。

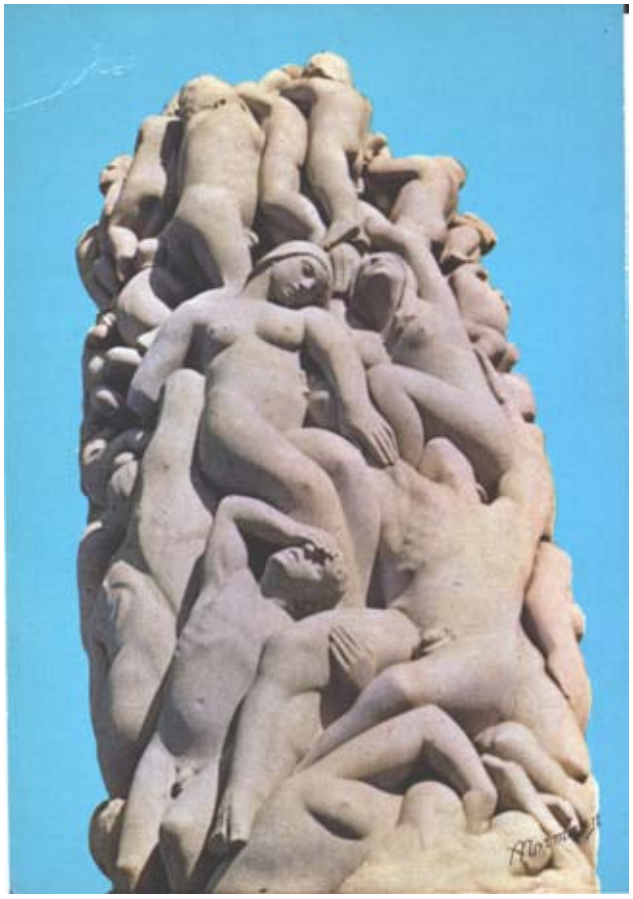
要約すれば、或る情調が特定の気分を結果させ、その

気分が特定の表現わすなわち言語による規定を結果させてアフェクトの概念化は成立し、併せて、こうして成立した概念＝言語が再びアフェクトに働きかけてその陰影を逆に深めることによって、しばしば概念化された言葉（テキスト）によっては容易に表現し難い、いわば高次化された情調を音楽が響かせることになったのである。宗教音楽における崇高な響きによるコンセントゥス（concentus）はその典型的な事例である。

言語による芸術創造における高次化

これも、後連合野から前頭前野への脳機能の働きによって可能とされる情動→言語（概念化）、言語→高次の情動化のプロセスに一致する、芸術創造における高次化の現象であろう。なお、当時のアフェクト論による音楽では、１９世紀後半からの「個人の特定の感情」の表現は意図されておらず、感情、情感が人間の普遍的情調の在り方としての喜怒哀楽に結びついていた点は注意されてよい。モーツァルトやベートーヴェンにおいてなお、モーツァルトやベートーヴェンその人の「悲しみ」が表現されたわけではなく、あまねく人間における「悲しみ」の情調が表現され、そのために、多くの作曲家、多くの作品に共通して同一の「悲しみのテーマ」が用いられた。これは情調の「概念化」であり、芸術における第二信号論であると言える。また喜怒哀楽という人間の四つの魂の状態、体液の状態が四気質と結びつき、さらにその背後で宇宙、万有の物質（存在）を形成する四元素と関わっていたのも、ここに付記されておいてよいであろう。

第 3 章 「言葉」ー 響きは語る



第 3 章　The Monolith（Gustav Vigeland, 1869-1943）
生生流転、色は匂へど散りぬるを、Detaljer fra den ferdighogne monolitt、1916 年より建築に取り組み、1943 年に一般公開された晩年の作品、胎児から死までの人の一生、感情をテーマとし、生命を讃える群像を周りに配した。

この章では、音楽と言葉、聴覚と視覚、およびその関連と融合について語られる。「響き」がキーワードとなる。

視・聴覚系の表現と運動との結びつき

音楽は響いて、耳傾ける人に何かを語り伝える。その何かは、ことばに結びついている歌においてのみならず、ことば・テキストを持たない器楽においても同様に、音楽を形作る演奏によって語り出される。演奏という行為ないし運動は、おそらく音楽そのものとは異なると一般的には考えられるであろう。だが演奏すなわち運動と音楽、もしくは音楽の表現とは同一の事柄の二面にすぎない。なぜか —— 演奏は、まず次のような事柄を指してのことであることに注意せねばならない。つまり視覚を通して読まれた楽譜が脳内において聴覚化され、読まれた音が響きとなり、その響きを表現わするべく運動機能は働かせられるのである。演奏は、その意味からして運動に他ならず、運動はまた響きの肉体化に他ならない。いかなる演奏もこの響きを抜かしては存在せず、聴き手へと響ききたって聴かれる表現は、視覚・聴覚によって脳に内在する響きが表に現わされたものに他ならない。従って、脳と音楽の関係について考えるとき、視覚・聴覚・運動の結びつきがまずは問われねばならないことになる。とりわけて言語、もしくは話され語られて響く「ことば」を中心に眺めたときに、この問題はこうした幾つかの機能領野にわたって複雑な様相を呈することになる。

音楽の響きと言葉の響き

まず音にしろ「ことば」にしろ、それは響きである点において一致する。古来より、ことばは音楽を、音楽はことばを求めて、ときにオペラのような芸術を作りあげてきたが、それは両者が本来同一の原理によるものであるからで、単に音と言語の間に表面的親近性が認められるからではない。響きは、物体から生ずる空気の振動に過ぎないが、その振動がときに特定の響き（音波）の形をとって「ことば」を形成し、また別なときに、幾つかの響き（ 音波）は響き合って「音楽」を形作る。果して音楽と「ことば」の限界はどこに存在するのか。その明確な区分はともかくとしても、少なくとも一般に音楽と呼ばれる、古代ギリシアに端を発し、ヨーロッパに継承されて今日に及ぶ響きの芸術は、古代ギリシアにおいて追求された宇宙構造の中に位置づけられ、一定の秩序を、それも数比例の形をとる響きの関係によって形成されると考えられ、また事実そのように形成され多くの音楽作品を生み出させて来た。

音楽と秩序

ピュタゴラス（派）の手によって発見されたと判断されたこの秩序は、しかも自然に内在するものでこそあれ人間が作り出したものではなく、おそらく「ことば」は、この秩序に近く在って音楽化され、また逆にこの秩序から遠く在って、すなわち人間の作り出す音声としてことばの形姿を鮮やかに刻むであろう。ピュタゴラス（派）によるこの秩序は自然に内在しながらも人間の手によって、この法則として取り出され、新たに音楽の秩序として人間の感性に深く関わることになった。そしてそのときに、併せて人間の感性の快･不快の情がこの秩序によって生起させられるところに音楽と人間と宇宙の不可思議にして神秘的な関係が見え隠れする。

語義的に捉えれば快い音、angenehm な音とは an ー nehmbar、つまり「（自己へと来るものを）受容し得るもの」を指すに過ぎないが、しかしこの「受容」において、

人間は、それと知らぬ間に宇宙・自然の構造に共感し共鳴させられていると言えよう。しかも音楽が秩序を本質とすることによって、その共感の最中に人間にそれとなく数比例を感知させているのであって、無意識的に、人間は音楽に共鳴して高度の脳機能を働かせていることになる。ドイツの哲学者・数学者であったライプニッツはこれを衝いて「音楽は魂が無自覚的に行なう計算である」と称したが、おそらく音楽が人間の感性を刺激し、人間に新たな精神の地平を知覚させるのは、優れて秩序に裏付けられた演奏を通じて宇宙の秩序へと人間が組み込まれて行くからに違いあるまい。音楽に優れて「癒し」の効果があるのもこのことと無関係ではない、ばかりでなく、既述された concentus の原理に立って音楽による人間の療法、すなわち人間の心身を " 良く整える " べく音楽の効力を再検討する必要があろう。

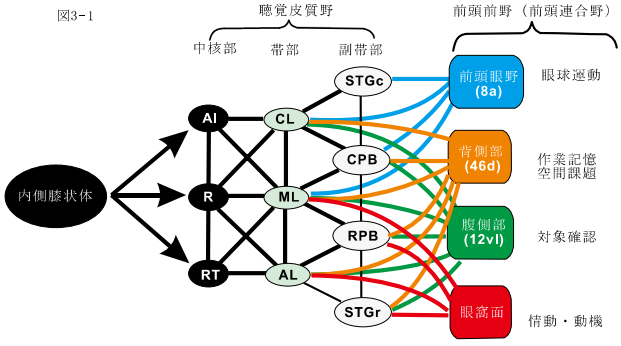
音の伝導と知覚

詳しくは聴覚系について後述（17 節）するが、まず音は、耳から聴覚系に伝えられて神経細胞の活動となる。すなわち空気の振動は内耳の有毛感覚細胞で電気的刺激に変換され、それらは脳幹内を上行し、間脳の視床を経て皮質聴覚野に達する。そして、ここで音の性質が最終的に分析され、その振動数 / 周波数に定められた特定の高さの音が知覚される。つまり、アナログの性質がデジタル化され、さらにその興奮は聴覚連合皮質内を段階的に、より高次中枢へと向かって進行することによってデジタル化されたものは再び高次のアナログを持つ性質に再構築されることになる。このように、音の振動数に応じた粗密波は、空気、骨、内リンパ液を順次経過した物質の振動としてコルチ器官内の感覚細胞（有毛細胞）を最初に刺激し、次いでその刺激による興奮が脳内に伝えられ、蝸牛核、外側毛帯核、下丘、内側膝状体核で順次ニューロンを変えて中枢神経系内を伝わり大脳聴覚領皮質 41 野、42 野で知覚されることになるのである。これはまさに視野の特定部位が第一次視覚領皮質 (17 野) の一定部位に対応した点として知覚される機構と同様である。

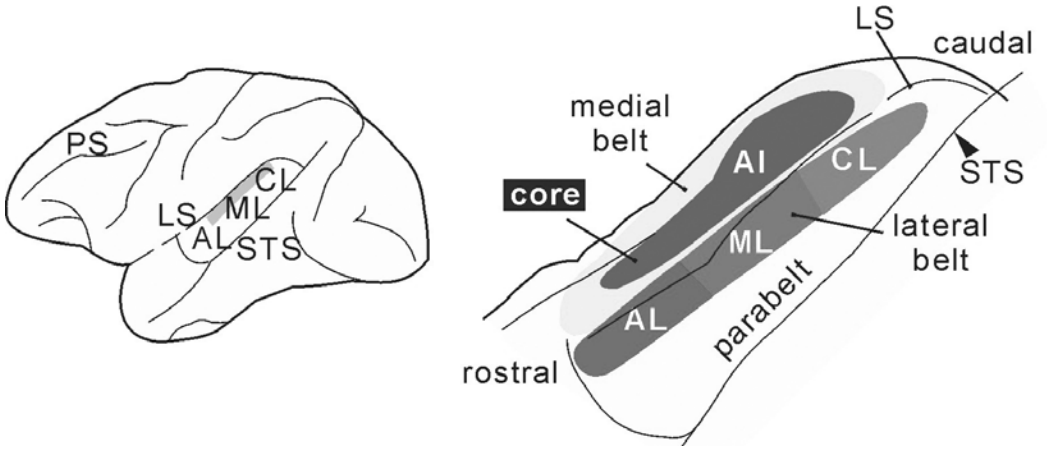
聴覚皮質は機能的にどのように区分されているか

このように聴覚領皮質の core 域（中核部：A1; auditory core area, R; rostral core, RT; rostrotemporal core）では、純粋刺激に対して潜時が短く、周波数局在が認められる。ロマンスキーらによる最近のサルの論文 [Romanski et al.,1999] によれば、core 域から medial & lateral belts（内側および外側帯部：CL, ML, AL）に興奮が伝わり、さらに lateral belt から parabelt（旁帯部：STS wall を含め得る）へと聴覚経路を進行する（図 6、図 7）。そしてここでは潜時は長くなり、周波数局在は不明瞭である。ヒトではおおよそのところ core (A1) は 41 野、belt area は横側頭回の外側部 (42 野) に相当し、parabelt area は上側頭回（22 野）に位置する。その後方部は縁上回 (40 野) 後部と角回 (39 野) 前部および中央部につながり、22 野後部と合わせて一般に感覚性言語野（ウェルニッケ 野）と呼ばれている。

＄（図 6、図 7）



（図 6）図３－０－１：大脳聴覚皮質内の形態・機能上の区域間の情報伝達経路を示す模式図（Kaas と Hackett, 1999, 川村、２００２、改変）。



（図 7）図３－０－１a：(メモ：追加) サルの皮質聴覚野の区分域を示す模式図。右図は聴覚野を拡大してある（Romanski ら、1999）。

聴覚皮質機能と視覚皮質機能の類似と相異

この側頭連合野の聴覚系機能として、右側は旋律（メロディー）や音程の認識処理に、左側は聴覚性言語の認識に関係すると言われているが、大脳半球の機能の左右差については後に論ずる（43 節）として、諸要素が融合したところにはじめて成立する音楽に対して、単純音から複雑音、和音、協和音、不協和音、メロディー、調性などへと単に階層的に内容が複雑化すると解釈することに無理があるのは言うまでもない。現在､具体的なデータには欠けるが、今後の研究により以下のことが明らかになるであろう。すなわち、聴覚領内における様々に分化したニューロン群の活動が互いに干渉し合い融合してはじめて、対象をブロック化することによるパタン認識を可能にする。その結果として、皮質ニューロン群の組み合わせが新たにパタンを作り出し、同時的または経時的に相互に作用しあるいは同調して、形態的にも機能的にも複雑化しかつ精緻化する。認識能力もこれと並行して高次化する。とくにこれは受容（聴受）について当てはまるであろう。たとえば、音楽と呼ばれる総合的響き（和音＋メロディー＋リズム、さらには音楽そのものに内在する言語性など）の全体が瞬間的に人間の心身の全体に、わけても集中的に脳に働きかけて脳の多元的・多角的な作用を一気に、正に瞬間的に引き起こし、同時にこの作用が、おそらくはホルモン分泌等の液性伝達系の活動を促して情動 (affectus) と呼ばれる身体の状態、調子を種々に整えて行くと考えられる。

しかし、現在の脳科学を以てしても、ヒトの脳に生起するこのような瞬間的な判断力を詳しくみることはできない。だが、それにもかかわらず音楽の専門家に要求される聴音、ソルフェージュに際して、複雑に響き流れて行く音楽、たとえばバッハの 4 声のフーガのような楽曲が、聴受の瞬間に聴き手の脳の中で種々の構成要素ないし単位に還元され、聴き手によっていま聴かれたその響きが再び楽譜として書き記されて行くだけの瞬間的判断力・分析力をヒトの脳の聴覚的・言語的機能が備えていることも事実である。

おそらく今後に、このようなソルフェージュにおける瞬間的判断・分析の能力と一般の聴受における聴覚領皮質の働きを比較しつつ、線分、曲線、単純な形、複雑な形象、顔貌（表情）、動き、色、配色、二次元から三次元への形象認知の発展など、視覚系における階層的領域区分の機能的発展と対照させて、人間の聴覚の構造に新たなメスを入れることは可能になるであろう。ごく日常的には、視聴覚という言葉が人々の口の端に上ることからも明らかなように、このような視覚的なものと聴覚的なものとの同時的把握・対照は可能である。視覚の美と聴覚の美は、種々の色彩の調和する色調と音の美とが響き合って深い類似を示すとみられるからである。

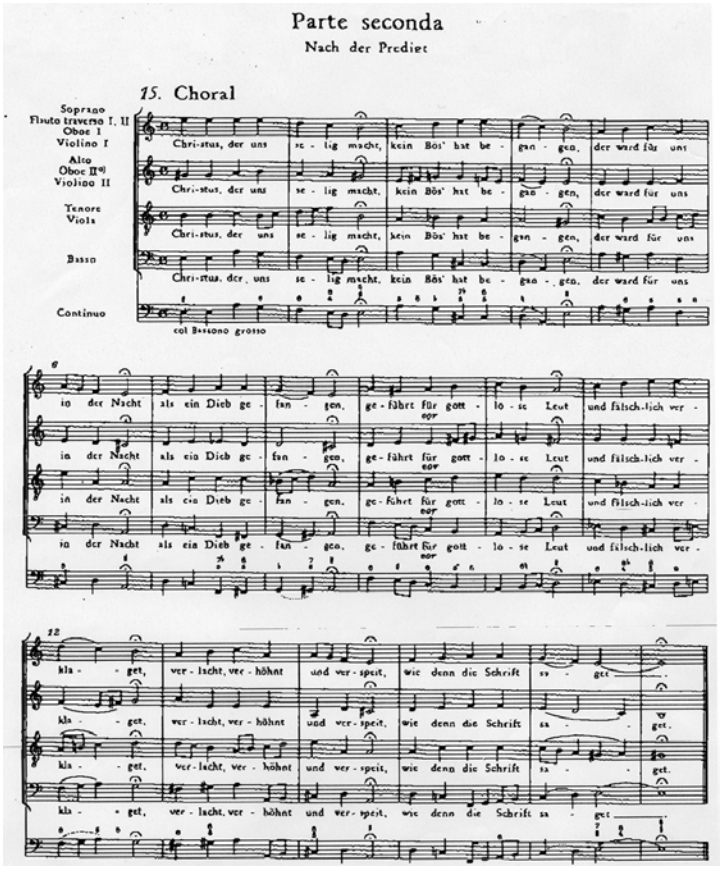
なお参考までにバッハの「ヨハネ受難曲」から第一 5 番のコラール（讃美歌）の楽譜を図 8 に掲げておく。この曲はソルフェージュ・聴音のために作られたものではなく、ソルフェージュ、つまり聴音の試験用には相応しくないかも知れないが、こうした 4 声の楽曲の演奏を聴きながら、それを再び楽譜の形に記して行く作業の一参考例にはなるであろう。ソルフェージュ・聴音の試験に用いられる楽曲は、たとえば各地の音楽学校によっても、また何を聴き取りのポイントにするかによっても各々に異なるため、ソルフェージュ・聴音の視点から一典型例を示すのは困難である。

むしろここでは、ヒトの脳がどの程度に音楽を知覚し、解析する能力を持つのかという、ヒトの脳の解析力の高さを示す一例を提示するのがベターであると考えられる。楽譜上で 4 つのパートに分けて書かれた音符が、実際の演奏ではひとつの響きに溶け合っているわけで、そのひとつの響きを再び 4 つのパートに分解し、その各々のパートの響きを文字・記号化して楽譜として書き得るのはやはり素晴らしいヒトの脳の能力であると言えるであろう。

最近、聴覚皮質野の研究は注目されるようになった。しかし、60 年代に既になされた、視覚皮質野におけるヒューベルとウィーゼルの情報処理という観点からの詳細な仕事 [Hubel and Wiesel、1965, 1968, 1969] に比べて、メルツェニッヒとブリュッグが多電極性ユニット・フィールド活動電位（multi-unit field potential）を最初に聴覚領で記録したのが 70 年代初期 [Merzenich and Brugge,1973] であるのを見ても、10 年以上も遅れている。マウントキャッスルらの体性感覚野における研究 [Mountcastle et al., 1952, 1957, 1975] も視覚野に匹敵するほど早くから進展していた。

異なる感覚機能領域が皮質レベルで重複する

現在では、視覚、聴覚、体性知覚などの皮質域内で細かく区分された低次から高次へと段階的に進行する機能域の存在や、この三つの機能領野に囲まれている領域には polymodal（多種感覚様態）に反応するニューロンが含まれていることが明らかになっている。著者はこの点に注目した [川村、1988, 1993]。すなわち、サルの連合野内にある特定の領域、すなわち、上側頭溝後部の周



（図８）図３－０－２：ソルフェージュ・聴音の試験用の課題曲（Parte seconda, Nach der Predigt, 15 Choral）。

囲皮質 (posterior STS 域) に体性感覚、視覚、聴覚などの入力が、一定のパタンをもって集中して終わっており、このような皮質レベルの感覚刺激伝達の集中性がサルで認められ、さらにこの集中性はネコにおいても認められることから、著者はサルの STS 域とネコの中 S 上溝周囲皮質 (MSS 域) が相応 / 類似しているとの見解を発表した [Kawamura, 1973a,b,c] 。サルの脳にみられるこの STS 域は、視覚性、聴覚性および体性感覚性の性質をもつ各連合野に囲まれており、ヒトの大脳皮質の発達段階にくらべて､たとえ質的に「低次」で萌芽的 (rudimentary) であるとしても、皮質内の位置的関係（またおそらくは線維結合上）の類似性からして、進化論的にみて、ヒトの 39 野（角回）や 40 野（縁上回）――感覚性言語中枢域（ウェルニッケ中枢）―― に発達し分化する可能性を内蔵している領域と考えられる (後述される 30 節の図 43、47 節、51 節、および川村 , 1993, 図 6-15 を 参照されたい) 。

第 4 節　視覚と聴覚の関連性・連合性

多面的で多様な人間の創造的活動

異なる機能領野の形態をその構成面・構造を視野に収めながら全体的に捉えたときに明らかになるのは、この後連合野内に存在する感覚性言語領野内のニューロンが種々の感覚様態に反応する性質を備えている点であり、かつまたこの領域において高次に信号化された情報は処理されると考えられる点である。重要なことは、多様な様相をみせる人間の精神的活動が一点に集中されていく傾向の根拠を、音楽・文学・美術といった多様な感覚系に反応するニューロンの存在が、仮想として提示しているとも思われることである。たとえば、人間の創造的活動に関しては前頭前野を中心とした Fm θ 波との関連を軸に検討されるのが望ましいが（前出 1 節､後出 , 13 節）、なお視聴覚の連合性からして、たとえばイタリア・ルネサンスにおいて音楽のみならず、文学・美術においても数の関係・数秩序に人々の関心が集中し、種々のジャンルで数の芸術が創造されたことは指摘されるに値するであろう。

また、人間の感性の働きには多様な側面・次元がみられるが、その根底に横たわっているのは外界からの刺激ないしは作用に対する反応であり、また逆に或る作用に基づく積極的な行動 / 行為である。この作用と反応を要約させたのが、古代ギリシア人の言うパトス π α θ ο ？であり、このような作用・反作用の中に置かれているという点からすれば、人間は他の動物と変わるところはない。

ホモ・サピエンス

しかし、他者、外界との感応の中に在って生命を維持しながら、同時に他の一切の動物と異なって、自己に働きかけ、自己に対する外界の何であるかを観察し、その結果を人間は概念化、もしくは感覚化してきた。つまり生物 / 動物 (アニマル) であると同時にホモ・サピエンスであるのが人間であり、しかもこの二面は渾然と一体を成し、その中間に境界を引いて両者を截然と区分することはできない。

感覚の多様性とその一体性を問うことはすなわち、生物としての人間が感知し、触知したものが同時に何故哲学や芸術という知の体系を成し得るのかを、また感覚から概念への、感覚から創造への過程の如何なるものであるのかを問うに等しい。芸術や哲学は単に概念の操作によって形成されるものではなく、感覚が単に動物的なものに終わるわけでもない。動物的な感性・感覚はホモ・サピエンスのあらゆる精神活動の母胎を成すものである。

人間と自然（宇宙）との対応関係

ここで、ミクロコスモス（人間）とマクロコスモス（宇宙）との対応関係を古代ギリシアに求めてみることにする。元来、音楽と言語、聴覚と視覚が深い関連を持つものであることは、現時点におけるヒトの脳の機能の解析によってかなりの程度にまで判明されるばかりでなく、そのような機能によって人間が作り出してきた伝達手段や芸術作品の歴史によっても裏付けられる。

とくに芸術の歴史にこのような関連性が如実に表われているのは、芸術作品そのものが基本的には多要素から成るものであり、かつまた脳の多機能の駆使によってもたらされるものであるからである。つまり、種々の芸術の源泉のひとつである古典、古代ギリシアにおいて、芸術・哲学・数学といったものがひとつの共通の問から派生してきたものであることが、先ずここに問われている音楽と言語や聴覚と視覚の関連性を物語っている。今日では音楽と言語、音楽と文学あるいは芸術と哲学と数学といったものは各々に独自の分野を形成して相関性を稀薄にしているが、本来これらのものは、広い意味で存在への問、在るとはどのようなことであるのかに関わって成立・発展したものである。

古代ギリシア以来の言語のリズムと韻律

たとえばプラトンの『ティマイオス』において展開された宇宙論は数学的であると同時に音楽の比例論に直接に関わり、さらに音楽の比例論は詩、文芸、とりわけて詩、つまり母音を根幹とするシラブルの長短が 1 ：1/2 の数比例に基づくリズム秩序をとる韻文によってまとめられた、ギリシア悲劇に代表わされる言語の響きの数比例と不可分である。また『ティマイオス』の宇宙論は同じプラトンの『パイドロス』における魂の問題から眺められた宇宙の形而上的構造論や『法律』の多分に神話的・音楽的宇宙論と切り離されては存在し得ないのである。

音楽と言語が共に響きによるものである以上、響きという、それ自体が空間を形成するものであることによって視覚の依拠する空間的機能と共通して「空間」を共有することは明らかである。ただし、残念ながら、視覚的空間性＝芸術に関して遺された古代ギリシアの文献は皆無に等しく、また音楽も実作品の伝承はこれも無きに等しいこと、あるいは、ギリシア劇における韻律が実際の上演の際にどのように響いたかが不明である点などからして、古代ギリシアにおける音楽・視覚空間の関連性を捉えることはきわめて困難であり、類推の域を出ない。この点からすれば、ギリシア・ローマの精神文化の遺産を継承し、これにキリスト教の考え方を加味してまとめられたヨーロッパの芸術の中に、いま中世の問題を措いて言うならば、とりわけルネサンス以降の芸術の中に、ギリシアにおける「在ること」に関わった芸術・学問の再生を、仮にそれがキリスト教的思考による再生ではあれ、認めることができる。

たとえば音楽のリズム構造にも適応された言語のリズム・韻律には、ギリシアの詩のもつリズムの種類すなわち、長短の組み合わせ、iambos(イアンボス) 短長∪－、trochaios(トロカイオス) 長短－∪、anapaistos (アナパイストス) 短短長∪∪－、daktylos(ダクテュロス) 長短短－∪∪が詩脚として用いられ（∪は－の 1/2)、この数的比例をベースとしたリズムを持つものとして表現されてきた。詩の基本法則であるこの構造は今日においても変わらない。ただし、改めるまでもなく韻文ではない近代の散文詩はこれと異なる原理に依拠するものであるばかりでなく、リズムの法則に立つ詩においてもルネサンス期にいわゆる俗語が用いられることによって大きな変化がもたらされたことは注意されなければなるまい。ここで言う俗語とはイタリア語やドイツ語のような、古典語、つまりギリシア語・ラテン語とは異なるヨーロッパ近代諸語を指しているが、これらの近代語においてはギリシア語に明確であった 1:1/2 の厳格な尺度が、単なる相対的長短の関係に変えられたのである。

もっとも、この変化があればこそ、ルネサンス以降の近代音楽における人間の内的なもの・アフェクトに関わ

る表現もまた可能になったとされる点は、これもまた充分に注意されなければならないであろう。但し、旋律に基づく芸術の内、音楽だけはそのリズム構造の中に厳格な１：１/２ の関係を保っていた。と共にこの厳格な数量的リズムに対して、自由な揺れを持つリズムの採用と、ことばの自由な流れに重点を置いた新しい作曲法（いわゆるレチタティーヴォ）が用いられることによって、数的厳格性と自由性の間に幾つかの段階を置いて 17・18 世紀の音楽は作曲され演奏されることになった。この厳格性と自由性は、当然のことながら表現されるべき問題や響きが最終的に宇宙構造に関わるか、それとも人間のアフェクトに関わるかと言った作曲・演奏の目的によって使い分けられた。この問題はヒトの脳の左右機能とリズム構造の関連性に示唆を与える。

聴覚皮質に入力された視覚情報

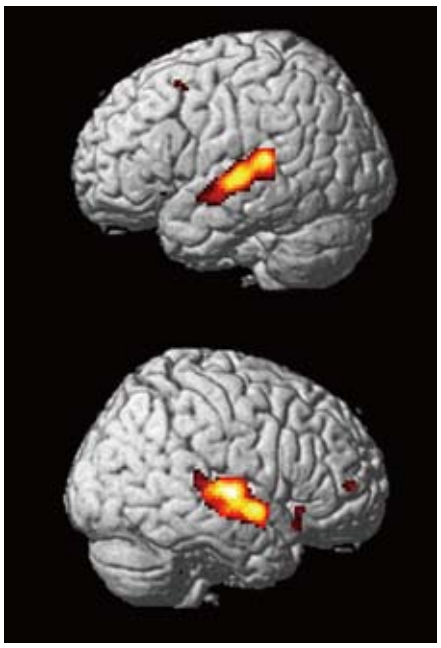
ここで視覚入力を聴覚皮質で受容するという聴覚と視覚の関連性を示唆する興味深い実験データを紹介する。米国 MIT のスールのグループは､生後 1 日のフェレット（ケナガイタチ）の視神経を両側性に切断実験手術して、聴覚伝導路の間脳における中継核である内側膝状体 (MGB) につなぎ変え [Melchner et al., 2000; Sharma et al., 2000]、成熟動物にまで育ててから調査した。すると視覚情報を受けて育った結果、この動物の聴覚皮質は「向き選択性コラム」（orientation column、特定の傾きをもった線分に特異的に反応するニューロン群が柱状に配列する）という視覚領に特徴的な「傾き地図」という構造を作るという視覚野に似た発生を遂げて、この領域のニューロンが音には反応せず光に反応するようになっていたことが報告された。このことは、DNA 決定論に従えば、本来聴覚関連遺伝子が発現わすべき大脳皮質領域レベルで視覚情報が入力され、処理されるという条件下で発育したために、視覚関連遺伝子が発現わするという異なる道をとってその機能を成熟させて行く可変化性を備えたものに変化したことを示唆し、脳の発達における可塑的性質の重要性を示したものとして注目されるのである。つまり視覚情報を処理するよう人為的に変えられた環境下で養育された場合に、このフェレットの脳は、構造的にも機能的にも新しい環境に適応し、その皮質が変容されるものであることを示したのである。このような大脳皮質における機能領域間の可塑性、すなわち相互の可変性に関しては、ローシェッカーや定藤のグループの総説や論文 [Rauschecker, 1999, 2002a, 2002b; Bushara et al., 2003; Saito et al., 2003; Sadato et al., 2004] に詳しく、その中で彼らの研究結果に基づいて、聴覚や視覚皮質野に関しても、他の感覚領野におけると同様に、発達期に障害を受けた異種感覚皮質野との間に、形態・機能的な可変・代償的性質が認められることを明らかにしている。

注・補筆]:：

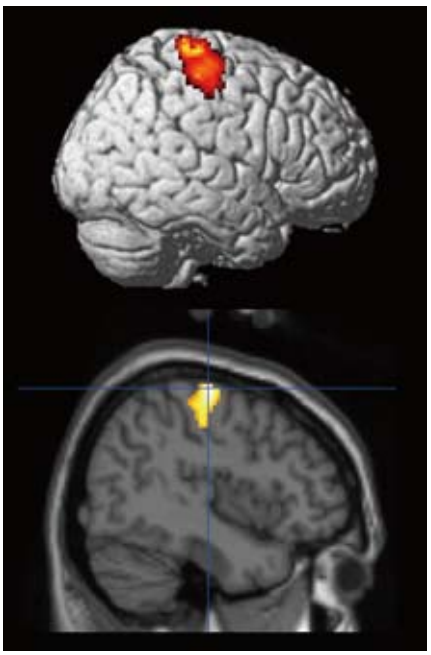
洋の東西を問わず、様式化された詩には一定の法則とリズムがあり、漢詩も韻を踏み平仄の音律をもっている。そして、声楽の発展は器楽の発展に先んじており、原始時代の日本でも歌謡が中心であった（古事記、日本書紀に歌詞とその歌われた状況などの記載がある)。わが国の原始･古代の楽器にはコト（琴)、フエ（笛)、ツヅミ（鼓)、銅鐸などが知られているが、コトを弾く男子の埴輪像も発掘されている。また、一般民衆は石や桶をたたいて音やリズムを鳴らした。母音を長く引く歌い方（琴歌譜）が次第に五五調に、ついで五七調に歌謡の詞型が整理され、やがて五七五七七という短歌のリズムが確立し初期万葉集時代に受けつがれていった（但し、施頭歌、東歌をみよ)。この５世紀から８世紀にかけて大陸､とくに百済（くだら）から音楽家も来日した。そしてインドに起源をもつ宗教（仏教）音楽（経典音楽）も伝来し、声の歌（音声言語による）から文字の歌（文字言語による）への転換／変革、または声（聴覚系）と文字（視覚系）との両面からの文化／文学の確立の第一歩という意義がある。音声言語を話すときは人は感情を表し、文字言語を用いて書くときには概念（観念）を表わす（ルソー）という。これはものの程度を示す観点ではあるが、正しい面を含んでいる。そして後者の文学は遅れて特定の少数者から始められたことは心に留めておくべきことかと思われる。

注：機能的核磁気共鳴映像診断装置（fMRI）は磁場内に置かれた脳の賦活活動部位の局所脳血流の変化時の酸素動静脈較差の減少を利用して (血液酸素化レベル依存性、blood-oxygen-level-dependent, BOLD)、赤血球中の常磁性体である還元型ヘモグロビンと反磁性体である酸化型ヘモグロビンの磁性体の変化を利用して、還元型ヘモグロビンの含有量の変化を信号として脳活動の状態を測定するものである。従って、神経活動との連結は強く、課題処理に関する活動部位の検出や賦活部位の同定には優れているが、神経の電気・化学的現象という「速い」反応･変化を直接見ているのではなく、血液動態や代謝という「遅い」変化を捉えているので、時間的解像度を高めるためにも、最近は脳波や脳磁図（１節、前出）との同時測定がなされている。今後、心理活動の神経基盤を調べる手段として益々有用となろう。図９、図１０に音楽を聴いているときと手の指を動かしているときの脳活動を示す画像 (brain imaging) を載せておく。

また近赤外線スペクトロスコピー（near-infrared Spectroscopy, NIRS）の原理は、組織内を測定可能な微少量通過する近赤外線（可視から赤外へ移行する波長の帯域、つまり波長の短い部分の赤外線のうち波長 650 － 1000nm の、1 eV よりも小さなエネルギーの光子で、ヘモグロビンに吸収される）の散乱・反射光を用いて、脳局所におけるヘモグロビンの濃度（酸化型および還元型）を測り、脳血流量を測定するものである。NIRS は脳表面付近のみの測定で空間分解能は低いが時間分解能が高く連続測定できるので精神活動を含めた高次脳機能検査として使われる（臨床精神医学特集号、33/6,2004 参照)。



（図９）図３－４－０a：(メモ：追加) ポピュラーソングを聴いているときの大脳皮質聴覚領の活動を示す fMRI 像（玉川大学学術研究所 MRI 施設より提供）。



（図１０）図３－４－０b：(メモ：追加) 左手の親指と人差指でタッピングしているときの大脳皮質運動領（右）の活動を示す fMRI 像（玉川大学学術研究所 MRI 施設より提供）。

視覚障害者と聴覚障害者の脳にみられた可変性

これに関連して注目したいのは、聴覚刺激を与えられた視覚障害者の視覚皮質に [Weeks et al., 2000] 、また、視覚刺激を与えられた聴覚障害者の聴覚皮質に [Finney et al., 2001]、機能的核磁気共鳴映像診断装置 (functional Magnetic Resornace Imaging, fMRI、下記の注) 参照) による脳機能イメージングで活性化の反応が証明されたという、異なる感覚皮質領域間の再構成 (reorganization) を示す研究が発表わされていることである。おそらくヒトの脳においても、視覚と聴覚は機能においてのみならず、質においても深い親近性を持つものであることをこの実験は告げていよう。あるいは光と音という、視覚（系）と聴覚（系）に分けて捉え得る感覚的物質のレベルにおいてではなく、光と音を形成している「波」ないしは「振動」に対して、この二つの器官は共通の質を備えている、と結論づけられるであろうか。これは、今後の研究の重要な課題の一つである。（図９、図１０）

脳の柔軟な性質

脳内皮質のこの適応性・可変化性の詳しい様態に関してはなお今後の検証に俟たねばならないにしろ、しかし視聴覚間の本質的に非常に近い性質を裏付けていると考えられる。と同時に、この視＝聴覚の事実から読み取れるのは、たとえば演奏という行為に際して、脳が視＝聴という空間性の中でなんらかの全体的反応を示しているに違いないということである。何故なら、高度な信号である楽譜を読んで楽器を奏でて聴者のアフェクトゥスを刺激すべく連続的に音を響かせて行くという知的過程は、単に視覚性符合認知と聴覚性音声変化とを結びつけることにとどまらないと考えられるからであり、そのほかに、頭頂葉の空間認知、側頭葉極 (temporal pole region =TG 野 , von Bonin and Bailey, 1941, のサル大脳皮質地図記号、以下略記) の情動の受動的認識、前頭葉の時間軸に沿った計量的認知、情動の能動的認識と演奏者の全身的情動表現に支えられて脳は全体として反応している状態にあると判断されるからである。ごく一般的に言えば演奏はなんらかの表現行為と考えられるが、別の捉え方をすれば、演奏は、脳内において視＝聴された内的響きを外化させるための運動に他ならず、しかもこの運動は、たとえばピアノを弾くといった場合に単に指を動かすことによって成立するものではない。それは全身を貫いて一個の人間の全存在を浸している情動の一切が指先に集中されることによってはじめて可能となるものであって、このような演奏という名の運動は、それが高次の表現に関われば関わるほど脳の全体的反応によって可能になると考えられるからである。既に触れた、人間が感知する響きの中に、ささやかな情感から宇宙の創造秩序に至るまでの、脳の全部位に直接して行く多層的な構造のあったことに改めて注意の目を向ければ、このような運動と脳の全体性の関わりはよく理解されるであろう。

なおこのことは既に１９世紀の後半に指摘されていた。パブロフが私淑したロシアの生理学者セーチェノフ

が筋肉的情動表現として捉え、感覚受容から筋肉活動の間におこる脳内プロセスを、彼の反射理論の中で呼んだ「筋肉的局面」に即して情動を説明した「強化された筋肉的反応」こそ、このような脳の全体的活動によってもたらされる表現の運動＝演奏の根幹を衝くものであったように思える。

より具体的に言えば、たとえばピアノを弾くとき、打鍵する指と鍵盤の距離がどの位に離れているか、あるいはその指と鍵盤の間の空間を、どの程度の速さで指が動いて鍵盤に触れるか、といったきわめて微妙な差異を持つ運動がいわゆる表現を作り上げて行くことになるのである。場合によっては毎秒数回の打鍵を行ないながら、微妙な空間における微妙な運動の差異を完全に（脳が）コントロールできなければ成熟した表現の演奏はできない。指の位置と鍵盤の間の空間・距離を動く指の速さと運動の力、というよりも一種、指の " 感 " が音楽（表現）を決定するわけであり、この " 感（触）" のコントロールが脳（の運動性機能）に委ねられているのである。

人間の視・聴覚分析はカメラやレコーダーとは異なる

視＝聴の連合性について幾らか角度を変えて眺めるならば、そこから、人間は視・聴することによって何をどのように感覚しているのかという問いが成立する。音やことばは響きであるとはいえ、その響きにも種々の性質・状態があるからであり、響きの性状が異なれば当然のことながらそれを感知する脳の部位・機能も異なるであろうからである。また視覚に明らかに示されているように、人間は自己の外なる物体ないし存在をカメラのように脳に映し出してこれを認知するのではなく、まず第一にいま見つめている対象の中に、この対象を形成している種々の構成要素ないし元素を見通し、そこから目下の対象の「個」的なものの認知へと機能を働かせる。動物とくに人間の脳は、根本的・根源的なものの認知から個的・個別的なものの認知に至る機能を備えるに至った。脳の機能のこの進行過程は、たとえば古代ギリシアのイオニアにおいてなされた、自然観察を通じて、人間が自己を取り囲む宇宙の根源形態すなわち四元素の発見へと向かい、再び宇宙の全体像に視線を投じてその姿形を四元素の混合による形成と捉えた、「在る」ものの認識に関するいわば哲学的思索の過程に不思議なほどによく合致する。おそらく、単純なプロセスをとる外界との日常的・生活的レベルでの感応から進んで、人間が人間たるべく問うて来た問いの中心に位置する宇宙内存在の自己認識へと向かう思索の糸の発展を促し、また逆にこの発展によって促進された脳機能が、人間をそのような認識過程を示す動物へと進化させたに違いあるまい。

小脳にも視・聴覚野がある

視覚系と聴覚系は中枢神経系内の種々の領域で重複ないし隣接している。1940 ～ 50 年代 [Snider, Stowell, Eldred ; 1944, 1951] の研究からネコやサルの大脳皮質の視覚領や聴覚領を電気刺激したとき小脳皮質虫部の中央部（虫部葉 VIIA と虫部隆起 VIIB）から電気的応答が得られることが知られている。因みに感覚刺激が受容体に直接接触するタイプの体性感覚や味覚や嗅覚に対して、視覚や聴覚のように媒体を介して受容体に間接的に働くタイプの刺激は遠隔受容刺激（teleceptive impulse）と呼ばれる。これらの反応は小脳の室頂核の尾部でシナプスを作り、ニューロンを変えて中脳視蓋部に伝えられるが（Hirai et al., 1982; Kawamura et al., 1990）、その際に視覚系のものは上丘の深部中間部に、また聴覚系のそれは下丘の外核および周囲核に伝えられる（川村、1984　の論文の最終部に付記した「視聴覚合体論－ファウストとメフィストの対話－」を下記に引いておく）。

ファウスト (Ｆ) とメフィスト (Ｍ) の対話

Ｍ：青息吐息の御様子ですね。御邪魔でしょうか。

Ｆ：胡散臭い奴だ。勝手にしろ。

Ｍ：私にとっては、聴覚系の方が面白そうですね。人間は視覚で物事を判断しすぎる。

Ｆ：認識・判断系のことを問題にしているのではない。そちらは大脳の出番で、今の務めは小脳だ。

Ｍ：小脳の機能として、視覚運動反射とか聴覚運動反射とか、また、光源や音源の定位に関連するなど御託宣のようですが、大脳や脳幹網様体との関連もろくに顧みないでよくも言えたもんだ。さっぱり実体的イメージが湧きませんね。

Ｆ：小癪な。暇とアイデアをくれ。小天地にそれがあるのなら連れて行け。

Ｍ：いつもの御性急がまたぞろ出てきた。あちらでは、前庭機能の考察も不可欠ですよ。これは聴覚機能と関係がある。どちらも第八脳神経でしょう。

Ｆ：昔の生成論は知らないが、前庭系と聴覚系との間には血筋の違いが明瞭なのだ。一方は古く羊水中で釣り合いをとる時分から発達し、小脳への最初の闖入者だ。他方は、新参者だ。小脳界隈にはすでに強固な縄張がつくられてしまっていたので前庭組のように大挙して直接入りこむことがむずかしかったのだ。代わりに延髄の蝸牛核あたりで擬似小脳組織を作っ

ているんだろう。和衷協同というわけにはいかぬ。

M:独り善がりもいいとこだ。ともかく､視覚系も新しい。視覚系人間などという言葉も耳にする。

F：その通りだ。しかし、聴覚系も同様に、いや、それ以上に新しい。

M：オランダ人は視覚的でドイツ人は聴覚的だ。レンブラントとベートーヴェンが象徴的だ。同じくゲルマン系だが。

F：話を逸らしては困る。皮相な現象論をふりまわす輩なんぞに用はない。

M：大変なお冠だ。とにかく、視覚と聴覚とは別物。視覚は間脳に入り、聴覚は延髄に入る。それに一方は粒子と波の折衷混体で、他方は単に波として源 (みなもと) が説明される。

F：似た処もあるではないか。小脳でも橋核でも、縄張がほとんど完全に重なっている。視蓋・小脳投射系に於いては、上丘も下丘も同声異俗。物質の最高段階にまで発展した形態などといばり腐っている大脳皮質にだって完全独立王国といえる場所は純粋に認識・分析系に属する所だけのようで、後連合野にも前頭前野にも重複したり隣接している部位がいくつかある。

M:視聴覚合体論か。我田引水とはこのことか。ところで、相補性とか多重感覚性とかおっしゃっているようですが矛盾を感じませんか。

F：唯我独尊的中枢は脳の中には一つもない。対立物は相互に浸透し、それらは高い段階で統一される。

M：物の臭みが強すぎて流行 (はやり) ませんな。

F：意識が物質より根元的だと考えるような干からびた彪犬（むくいぬ）の脳髄からは、実りある発展はあり得ない。

M：羊皮紙綴りの知識は灰色だ。実際に験することだ。豊かな人生はみどり色だ。言い残してはございませんか。

F：耳目を属 (しょく) すという言葉がある。眼を開いて物事に刮目するなら、萬物流転の位置を確と定めることも左程苦にもなるまい。眼を閉じてもそれができるだろうか。こう考えてみると、視覚と聴覚の連続性という意味が少しははっきりする。前方は網膜にまかせられるとしても、側方・後方はコルチ器官の助けが要る。これが相補性だ。脳研究者は、生理学的・生化学的言葉で説明ができない限り迷うものだ。

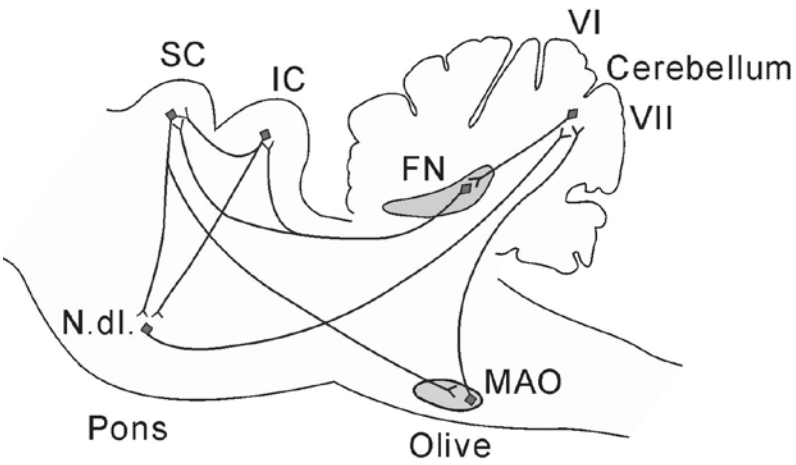
M：Cogito, ergo sum. Nihil sub sole novum.

このように小脳および脳幹が関与するいわゆる視覚性運動（visuomotor)、聴覚性運動（audiomotor）の反応がみられ、動物一般において、視覚上および聴覚上のなんらか動きつつあるものの同定（位置の特定）に関連するシステムが存在する [King and Palmer, 1983; Knudsen and Konishi, 1978] 。野生動物が生命維持や攻撃、逃避のために、視覚的にも聴覚的にも、動く対象に対して感覚・動作を発達させていることがよくその証となるであろうし、視聴覚系が、動く視点や音源の同定に協同して作働している可能性をここにみることもできるであろう。これに対してサルでは STS (superior temporal sulcus) 域を含めて後連合野から前頭連合野に向かって、広範囲にわたって局在性の投射があり [Kawamura and Naito, 1984] 、前頭前野の弓状溝の前方域の前頭眼野の前方に隣接して、主溝の周囲域（とくに背方域）にかなり広い範囲にわたって、空間に存在する静止した物体をめぐる視覚性の空間的位置の注視・認定に関わるニューロンが認められる。さらに、これらの視覚性位置反応ニューロンの周辺には、これも同じく静止した音源を傾聴・認定すると思われる聴覚性位置反応ニューロンが同定されている [Azuma and Suzuki, 1984; Suzuki,1985; Vaadia et al.,1986] 。

中脳における視・聴覚運動性入力信号の役割

哺乳類の中脳背側部（視蓋）は、動く物体を視覚的に同定する小脳からの視覚運動性の入力信号をうけるが、同じく視蓋にいたる網膜からの直接の視覚入力信号との間のズレの調整をこの部位で行なっている [Robinson, 1972]。同様に、動く音源の同定とズレの修正の問題が聴覚系に存在するか否かについては明らかではないが、少なくともコルチ器官内の有毛感覚細胞レベルから蝸牛核、外側毛帯核、下丘の外核・周囲核、上丘の深層核などの諸神経核へと、左右両側性をとって、脳幹からの興奮が上行することが知られているため、この問題にはこれら広範囲な脳幹内の諸核間の相互関連作用が関与していると思われる（図１１)。

臨床医学的に聴覚系機能を調べる検査法の一つに聴覚誘発電位（聴覚刺激に対する脳の電気活動をコンピュータ加算して、頭皮上電極を用いて観察する）や事象関連電位 (event-related brain potential, ERP) の測定があるが、有効なヒントが得られることを期待する。音源（発音源）の振動数とその持続に関わるリズムの動きは異なる概念ではあるが、ズレ／ゆらぎの現象の持つ、むしろ自然の物性を反映している不完全性を連続面に投映した



（図１１）図３－４－１：視覚と聴覚の刺激を伝える小脳 - 中脳（視蓋）神経路（川村、1984）

ときの心地よさ（An-genehm-bar-keit）をもたらす要因は、視・聴覚系のリズムおよび一定の音組織の中に現れる音高（振動数）の中に、それもとくに前者に、内在しているのかもしれない。

視・聴覚ニューロンの類似点・相補性

中脳―間脳―大脳皮質を結ぶサルの聴覚系におけるパタンと空間認知の並列的流れについてはローシェッカー [Rauschecker,1997 の Fig.2 を参照] により考察された。動きつつあるものにせよ、静止したものにせよ、視覚・聴覚はニューロンの働きそれ自体が示すように、刺激源の位置の定位に深い関わりを持っている。さらに、或る特定方向の動きに反応するニューロンが、やはり視・聴の領域にわたってみられる。たとえば、視覚連合野において一定方向に動く棒をみた時に反応するが、軌跡は同じでも反対方向に棒が動いた時には全く反応しない視覚性ニューロンが認められている。聴覚領内でも音が一定の周波数をもつ高音から一定の周波数の低音というベクトル方向が定まった連続音を聞いたときには反応するが、反対ベクトル方向の変化連続音に対しては全く反応しないという性質のニューロンが belt, parabelt 域に発見されている。

聴覚系がよく発達しているフクロウを用いた電気生理学的研究 [Gutfreud et al., 2002] により、視蓋（＝上丘）から下丘の外核への GABA 含有抑制系の投射があり、このために視覚性情報を取り入れたときに聴覚性空間認知機能が上手に働くことが示された。

聴覚皮質機能の動物実験

またたとえば、サルに関してではあるが、次のような興味深い実験データがある。この実験は基本的には雑音に関してなされたものであり、まず次のような点が指摘される――なんらかの連続音を聞かせたとき、第一聴覚領皮質 (A1) で多くのニューロンが反応するが、雑音に対しては A1 のニューロンは反応せず 22 野 (belt, parabelt) のニューロンが反応する。次に、この連続音を途中で数秒間切り落とし、その間だけ無音に細工したテープをサルに聞かせた場合に、聴覚領内の A1 ニューロンの反応には数秒間の断絶がみられるのに対して、22 野では雑音（white noise）に対する反応があるとはいえ、電気的興奮性は途切れていないと言う。形態的にこの部位を捉えれば、A1 から belt への軸索の伸びを指摘することができるし、音（楽）との関連で言えば、幾つかの異なる音に反応するニューロンを備えた 22 野では、雑音に反応するニューロンの存在も知られている [端川、私信]。ネコにおいても聴覚皮質 A1、A2 域に種々の性質を持ったニューロンが存在することが知られているが [He et al., 1997] 、このようなニューロンによって異なる性質が、音とそれに対する反応性に差異をもたらすのである。つまりなんらかの振動に対してなされるニューロンの反応、別の言葉で言えばそのチューニングの幅にシャープなものからルーズなものまであり、また潜伏時間（音を聞いてから反応するまでの時間）にも長短があって様々である。チューニングの幅が広いもの、潜伏時間 (latency) が長いものは A1 域の背方域 (DZ) に多くみられるが、それにもまして A2 域に多数みられる。また、サルで陽電子放射断層撮影装置 (Positron Emission Tomography, PET、7 節、参照) を用いた実験で、white noise に反応するニューロンは A1 には認められず、同種のサルの（クウーという）鳴き声をテープで聞かせたときに A1 で多

注：ERP (event-related brain potential) 外界からの感覚刺激に対して被験者がなんらかの精神作業を行ない、その際の刺激に対する一連の反応に伴って生じる一過性の電位変動、すなわち、認知活動に伴う脳内の神経活動を頭皮上から電位として記録したもので誘発反応とも呼ばれる。

くのニューロンが反応する。さらに興味深いことに、そのテープを逆方向に回転させてサルにとって意味のない音声として聞かせると 22 野 (belt, parabelt) の中央部から後部域にあるニューロンが反応するという [端川、私信] 。聞いている音の性状を知ろうという活動なのであろうか。また、仲間のサルに心地よい鳴き声を聞かせると、22 野の前方域で (TG 背側部) 扁桃体と強い結合をもつ皮質域に多くのニューロンの反応がみられる。音の快・不快を判断している状態なのであろうか。

音と色

V4 は色彩に反応するニューロンが存在する視覚皮質領域であるが、それに相応する聴覚系のニューロンとしてどのようなものが考えられるか。音の色彩というのは響きの彩り、音色という類似性も考えられようが、もしもそのような性質を持ったニューロンの存在が認定されれば、「響き」を彩り性格づける明暗・陰影という鍵概念に迫れるものとして注目されてくるに違いない。
色や音は基本的には特定波長を持った概念であるが、明暗ないし陰影といった色や音の性格までをも問題にした場合に、それは単彩的な色や音の概念あるいはイメージを超えて、より複雑な人間の感性の働きを俟ってはじめて識別される。絵画における色調に同じく音楽の響きのニュアンスもまた、単一の波長をベースにした概念からくるものではなく、混合性の波動からくるものだからである。

このことは、脳機能の解析によってのみならず、実際に音と色彩を結びつけ、音楽の流れに合わせてコンサートホール内に投影される色彩を変化させることによって人間の神秘的経験を深めさせようとした、ロシアの作曲家スクリアビンの作品における和音の用い方等を分析することによっても解明されるであろう。あわせてフランスの作曲家ドビュッシーの音楽が印象派の絵画に比較されるのも、単に同時代の精神性やドビュッシーの目にした絵画やパリ万博で触れた東洋の物品、文化の印象といった外的資料の面から云々されるだけではなく、視聴覚のニューロンにみられる共鳴という点から今後は研究される必要がある。のみならず、それによって逆に、二つの感覚系のニューロンの共通の働きに照明は当てられることになるかと判断される。

視・聴覚と情動との関連

次に上述の視・聴の働きから一歩を進めて、この働きがもたらす情動との関わりをみるために、下部側頭回の前方域を研究しているサリームらのデータを考えてみることにする [Saleem et al., 2000]。視覚の認識過程は 37 野 ,TEO 野から TE 野へ側頭葉を前方へと進行するが、TE 野は扁桃体と相互に結合されている [Kawamura and Norita, 1980]（皮質扁桃体投射ニューロンは皮質第 6 層にあり、その逆投射系の存在も確認されている）。TE 野を背側部と腹側部に分けて調べた結果では、扁桃体の内側基底核は側頭葉 TE 野の腹側域とのみ、外側核は TE 野全体と各々結びついている。さらにこの領域からは腹側線条体（＝側坐核と嗅結節）への投射が行なわれている。側坐核や扁桃核は辺縁系に属し、また視床下部へは扁桃体から分界条（stria terminalis）という名称の線維束の投射があり、その他に、扁桃体腹側遠心路が側坐核や視床下部に分散された形状をとって終止線維を与えている。分界条は主として扁桃体の中心核から、扁桃体腹側遠心路は主として内側核と皮質核から起こり、本能的行動の誘発や意欲・情動の発現に関与していると思われるが、こうした機能の存在こそ、人間が歴史を通じて長く思索し追求してきた音楽による癒しや人間の道徳的教導の問題に深く関わるものであり、これを可能にさせてきた、いわば陰の主役として人間と音楽の関わり合いの中核に在ったものであろう。

ヒトにおいて詳しい研究こそなされていないが、22 野の最前部に位置する 側頭葉極 (TG 野) は聴覚連合野に属して扁桃体との結合も認められることから聴覚系の情動発現に関連する領域と思われる。この、前記 STS 周囲に位置する皮質域はサルのデータを 1970 － 80 年代に著者が詳しく調べ研究した領域であり、後背部は言語系に、前腹部は情動系に、また、中央部を含めて全域的に多種の感覚刺激に反応するニューロンが存在し、数種の感覚様態の入力が集中するところである（後述、51 節、参照）。また、この皮質域は前頭前野にかなりの部位局在性をもって出力連合線維を与えている [Kawamura and Naito, 1984] 。さらに、STS の背側もしくは上側皮質壁には第一次の体性知覚や味覚からの興奮も入ってくる。さらに興味深いことに、この領域に関しては体性知覚連合野に相当する 5 野 ,7 野や一部が運動性言語野（ブローカ野）に含まれるとされる島 (insula) 域との結合が証明されている。

皮質連合野と扁桃体

前述したように、側頭連合野に属するこれら TG 野や TE 野前方部は、鈎状束（fasciculus uncinatus）と呼ばれる両方向性の連合線維によって眼窩面皮質 (OF) と相互に強く結びつけられているのみならず、TG,TE,OF の各皮質はいずれも扁桃核との密接な相互結合をもっている。つ

まり、後連合野内の扁桃核と結合関係を有する領域と前連合野の同類の領域 [Kawamura and Norita, 1980] とが相互に強く結びついているのである 。実際の所、前連合野から後連合野へ向かう成分は、少なくともサルにおいて、量的には反対方向の後連合野から前連合野へ向かう成分に比べて少ないとはいえ、この鈎状束を通ってなされる皮質・皮質間の結合、すなわち前→後の投射成分は人間の知や情に関して無視できない重要な構成成分であると、著者は常々考えてきた。

事実、最近に宮下グループは、特定の連合線維路に障害を加えるという実験を施行して、鈎状束を通る前連合野から後連合野への投射成分が記憶の想起に関係することを証明してみせたのである [Hasegawa et al.,1998, 1999]（詳しくは後述、41 節)。なお、このような視・聴覚系のニューロンに関して、とくに感覚性言語野と結びついた受動的な情動や概念理解から、能動的な行動・運動への移行を指示する神経系の問題をここで次に取りあげ、前頭前野から運動野への流れを明らかにするべきであるが、この問題は後述の演奏に関するニューロンの働きにあわせて記述される（6 節)。いずれにせよ、視・聴することから新たな行動へと一歩を進めることによって、おそらく人間をして最も人間的な営為であると目される創造活動についてもメスが入れられることになるであろう。人間の学としての脳の科学の核心にわれわれの探求はいま触れつつあるのである。

このように、視覚と聴覚とは密接な関わりを持っているが、その視覚と聴覚との類縁性を如実に示す fMRI を用いたヒトの脳の研究を次に取り上げてみる [中田、2000] 。レポートは日英バイリンガルのピアニストを被験者にしたもので、初見演奏も当然こなすこのピアニストが楽器なしで、つまり実際に楽器を奏して音を響かせることなく、楽譜のみを見せられたときに活動する脳内の視聴覚領域に関する fMRI の記録である。

初見演奏は訓練を積めば誰にも可能なことであり、その限りにおいてこの実験データが示す結果は一般化され得る。ともかく、楽譜を示されているに過ぎないため第一次視覚野（V1）は反応しているが、第一聴覚野 (A1) は反応していない。つまり、視床皮質神経路 MGB → A1 という聴覚伝導路は興奮を伝えていないのである。ところが、驚くべきことに、音を理解する領域である聴覚連合野が働いているという所見を得たのである。詳しくは、V1 および聴覚連合野の他に、言語読解と共通する左脳の視覚連合野と、楽譜の読解に特異的に反応するといわれる右脳の視覚連合野が働いていたのである。視覚領で楽譜が文字＝記号として認知された後に、言語を理解するときと同一領域である左側の聴覚連合野において、より詳しく言えばその内にあるいわゆる側頭平面 (planum temporale,PT) が働き、ここで楽譜を音として捉えていると考えられたのである。

ヘシェル回と側頭平面

側頭平面は横側頭回（別称 Heschl 回、HG）の後方および上側頭回の内側に位置し、その左右差に着目したゲシュウィントとレヴィツキーにより 65%のヒトで右半球の PT より左半球の PT の方が質量的に有意に大きく、言語機能に関係すると考えられてきた皮質領域である [Geschwind and Levitsky、1968]。また最近の研究によれば、上側頭回を占める２２野の後部もヒトで左半球の方が２０％大きいと言われており [Galuske et al., 2000]、機能的にも速い周波数変化の処理過程に関わる左側の側頭平面は言語機能に、メロディー (melody)・ピッチ (pitch、音の高さ) ・音の強度の過程に関わるのは右側の側頭平面に特殊化して発達していると考えられる [Zatorre et al., 1994; Belin et al., 1998a, 1998b]。なお一般に、Heschl（ヘシェル）回は音を処理する部位、対して側頭平面は言語を処理する部位とされているが、体積を計測した平安らによれば、統合失調症患者では健常者と比較して、左側頭葉が右側よりも小さい上に、Heschl 回は両側ともに減少していたが、側頭平面では左側のみ有意に減少していたという（Hirayasu et al., 2000)。（後述、7 節、47 節参照)。

一方、こうした響きの解読に加えて実際の演奏行為がなされる場合には、以上の過程の中で、同時に左側の頭頂葉が働いて響きが運動知覚に関する三次元空間の情報に変換されると考えられる。ただし、響きの一切が変換されてしまうわけではなく、側頭平面において、あるいはそれに代わるいずれかの部位において響きは響きとして記憶され、響き続けることになる。これは演奏者が、自分がいま奏し響かせている音が正しく響いているか否かを判断するために必要不可欠な機能であるが、詳しくは後述される（6 節)。いずれにせよ演奏時に側頭平面における響きの知覚からごく短時間の経過の後に、興奮がおそらく前頭前野（前頭連合野）を介して一次運動野に伝えられ、指を動かす領域が働きピアノを演奏することになる。

失聴後のベートーヴェンが体験した内聴と響き

以上は、局所脳血流（regional cerebral blood flow、rCBF）などで脳の検査をしたとき、音楽教育を受けたヒ

トが楽譜を視見しているときに、楽器等で実際にこれを歌い奏した音を聴かなくとも、A1 の反応は見られないにもかかわらず、聴覚連合野のニューロンが活動している状態を、別言すれば音を文字化（或いは文字を音化）して理解しているときの状態を示しているものと解釈される。同様の事例として、こうした脳機能の在り方を証すると考えられる分かりやすい例として耳の聞こえない難聴者が、手話会話ないし手話ニュースで身振り化された文字ないしメッセージを、あるいは口唇の動きを視覚的に読み [Calvert et al.,1977]、かつこれを「ことば」すなわち響く言語として、音の連続として理解していると考えられるのがそれである。また、棋士達が三五歩、白４六ハネなどの進行読み手の声を聞いただけで対局の盤面をありありと描くことができるのも、また、ソロバンに優れた者が誰しも、非常な速度で読まれる計算を（指を動かしながらの場合も含めて）暗算できるのも、聴覚連合野が働いて音声を文字信号としてその形態的イメージを認識している故であると思われる。楽匠ベートーヴェンのように、長じて難聴から進んで失聴に襲われた音楽家が記憶された響き（内聴）によって作曲し、内聴された響きを音符という一種の文字記号によって楽譜化（文字化）し得たのも、ヒトの脳における言語（文字）＝響き（音楽）認知の深い関連性と、その認知に必ずしも外聴（ A1）が必然されないことを物語る事例であると言える。

なお、ベートーヴェンの場合、多くの音楽家に見られる事例の典型として、作曲にスケッチ帖が用いられたことは広く知られているが、このこともまた文字＝響き・認知と A1 の関係についての示唆を与えるものである。楽譜は作家における文字と同様の機能を持つものであるから、作家が一度書かれた文章を訂正して行くいわゆる推敲の作業と同じく作曲家は一度書かれた楽譜を訂正し、加筆しながら作品に仕上げて行く。この作業は原則としてどのような作曲家にもあてはまることであるが、ベートーヴェンほどこの作業の初歩的段階、つまりごく簡潔な、殆ど無意味に思われる着想の段階からスケッチ帖を用いてこの楽想を記し、それをくり返し訂正し、推敲した思索の軌跡を記録した作曲家も稀有である。

音楽家にとって第一義的に重要なことは「内聴」であり、「内聴」された響きが楽譜化され、楽譜化された内聴が、内聴された響きそのものを訂正し、また訂正された響きが楽譜を新たに書き直させるという、要するに響き（概念化）を相互的に繰り返して行くことによって、音楽（作品）は成立する。

ただし、それでもなお、失聴した後のベートーヴェンが自らピアノを弾きながら作曲・推敲し、自分の作品の練習に立ち会って、たとえば自分の弦楽四重奏曲がシュパンツィヒの四重奏団で演奏されるのを聴き、弓の動きから響きを感知したり、第九交響曲のオーケストラでの練習時に改めて楽譜に改訂の筆を加えたことは、外音の響きを身体で感じる体感からの神経入力と合わせて、演奏家の身体の動きを捉える視覚野によっても響き（文字）が認知されることを物語っていると言えるであろう。

絶対音感と相対音感

なお、このような聴覚機能ないしは言語野の研究に際して、とくに響きといわゆる絶対音感（absolute pitch, 音をピッチ（周波数）ごとに厳密に聴き分ける能力）の関係が云々され、絶対音感が特殊な能力であるかのように記述されることがあるが、これは単なる誤解に過ぎないのみならず、絶対音感が上のような音＝文字機能について検討する際の必要条件であるとは考え難い。音の高さを認知する場合に音感には二種あり、外聴された音の絶対的高さ（振動数的音高）を判断し得る絶対音感と、或る音と他の音との関連性を認知してゆく相対的音感がそれであり、重要なのは前者ではなく後者である。前者は単に音高を識別する能力に過ぎないのに対して、いわば音による思想の伝達を旨とする音楽（作品）を成り立たせるのは後者だからである。音感には音高の識別の他に強弱やテンポ（感）、響きの陰影等の認知が含まれ、音楽のいわゆる表現は相対音感によるものである。従って絶対音感ではなく相対音感の優劣が音楽家としての能力を決定することになる。このことは言語について考える上でも重要で、言語もまた相対音感によって認知される。とくに詩に象徴されるように、文学は本来書かれるものではなく語られ聴かれるものであること、また優れた詩がしばしば優れて音楽的であること、これらのことは充分に注意されて然るべきである。また参考までに書き添えれば、今日では国際標準音が決められている（a=440）ので、原則として或る音の響きの物理的高音は世界共通である。しかし、バッハやモーツァルト、ベートーヴェンの時代にはこうした高音の規定はなく、各都市間で、また演奏される作品の種類によって絶対高音はまちまちであった。

再び視覚と聴覚の類縁性

この項の最後に、これまで多角的に眺めた視覚と聴覚との類縁性を改めて取り上げ、これらの感覚系において、それでは何らかの事象がどのようにその全体的意味を明らかにして行くのか、脳におけるいわば総合の働きに触

れてみる。たとえば、種々の音素が相互的に関連し合い、ひとつの全体像として或る意味を形成し、その意味が響きとなったものを「ことば」と呼ぶとき、その全体の形成（ゲシュタルト化）は具体的に脳のどのような機能において可能とされるのであろうか。

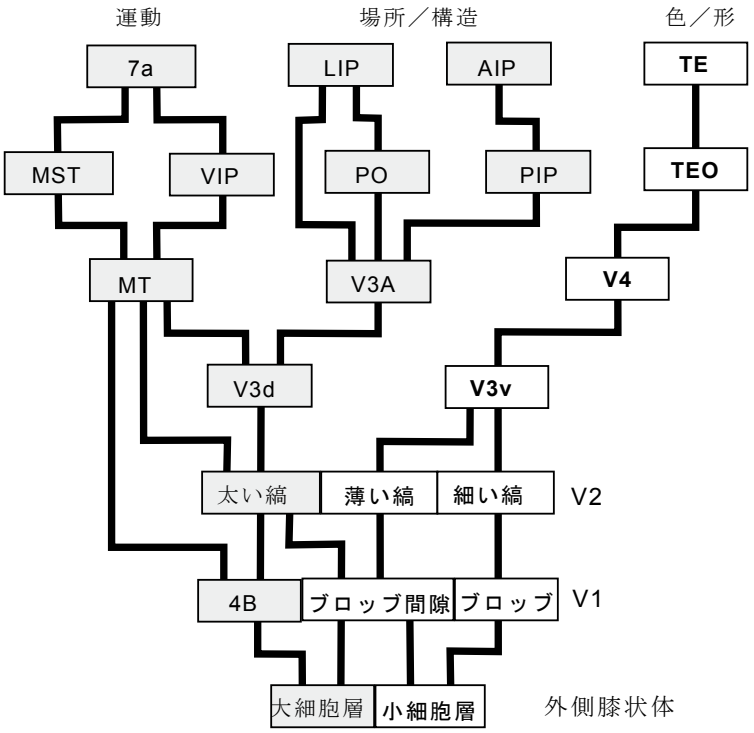
同じ問いは、無論のこと音楽に対しても発し得る。ひとつの例をあげてみよう ― メロディーや楽曲などは通常ひとつの動き、あるいは流れを形成して響き続いていくが、そのような流れを作り上げる個々の音、ないし音素そのものは個々に独立し断絶したものである。しかし、その断続した個々の音をひとつの流れへとまとめ上げ、いわば音楽的連続性を時間的に保持させるべくゲシュタルトを形成させるなんらかのメカニズムが存在するわけであるが、それではこの機能が果して聴覚皮質において、あるいは、聴覚系神経組織のなかで、どのように働いているのか。脳内の種々の部位が時間的パタンをもって同調して活動していると思われる [Elbert and Keil, 2000; Patel and Balaban, 2000]。また、空間的事象（視覚対象）の場合に途切れた線分や種々の幾何学的要素に分解された絵画の要素を空間的なゲシュタルトへとまとめあげるメカニズムが視覚系神経組織のなかでどのように働いているのか。

単なる音素の結合や線や点の結合だけでは音楽たり得ず、また、絵画たり得ないことは明らかで、鑑賞者（すなわち受動者）の場合でも音楽や絵画の創造の側に立つ者（すなわち能動者）でも音（素）や形質（素）を相対的にゲシュタルト的に組み上げてまとめ上げるプロセスこそが芸術を作る上での「原初的」とも言える絶対条件である。

それではそのような「作品」の形成の根本的働きが実際にどのような過程、機能をとるのか、先ず、聴覚皮質における音の形質とその発展的プロセスから考えてみる。ところで、前項に触れたように、楽器等の媒体によって空間中に響きつつ形成されるいわゆる音楽（の響き）は、そのまま脳内に到達するわけではなく、視覚における各要素への分解→再構成と同じく、インパルスとして聴覚領皮質に達し A1/core(A1,R,RT) → medial & lateral belt(CL, ML, AL) → parabelt(STGc, CPB, RPB, STGr) と進行し、後連合野皮質内で、ニューロン活動に対応して音の質（テンポ、音色、ピッチ、和音、協和音など）が形成され、変革され、消去され、また、再構成されるというように変化すると考えられる。これが鑑賞ないし聴受の際に脳内に起こるプロセスではないだろうか。

これに対して、先にも触れたように、聴覚系に比して視覚系の方がはるかに詳しく研究されてきた。当然のことながら、その研究成果を参考にすることによって、聴

図3-2



多数の視覚領野のブロック図

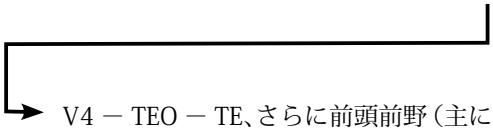
(Ungerleider and Desimone, 1986)

（図１２）図３－４－２：視覚皮質関連領野の情報伝達経路を示す階層ネットワーク。（Desimone ら , 1985 ; Baizer ら、1991, 川村、2002, 改変）。

覚系にもメスは入れられる。では、視覚系では実際にはどうなのか？　区分としては、視床の外側膝状体（LGM）からの入力が最初の大脳皮質（第一視覚野、V1）に達し、そこからスタートする皮質内の視覚経路は図１２で示されるように大きく２つに分かれる。

すなわち視覚系皮質は V1 の他に V2,V3,V4,MT その他 TEO,TE（これらは側頭連合皮質に属する）、さらに PG 内亜域（CIA, AIP, VIP, LIP など、これらは頭頂連合皮質に属する）などに区分される。PG 野は本来体性感覚連合野として知られている領野であるが、空間的位置や動きを知覚して対象が「何処」にあるかを認識する空間視の系（システム）である背側路が前頭前野に向かう後連合野内の領域でもある。さらにこの空間視のシステムは V5（＝ MT）野を中心とする運動視の系統と V3、V3A 野を中心とする場所と立体視の系統に分かれる。また、PG 野は体性知覚と視覚とが " 重複 " した領域であり、両眼による立体視という意味ではないが、物体の表面を斜めに傾けた時に生ずる奥行きの感覚などを言う立体的認知に関係したニューロンがサルで同定されている [Sakata et al., 1983, 1997] 。さらに最近になって、この領域に三次元的な面の傾きを識別するニューロン、すなわち面方位識別（surface orientation selective）ニューロンが見いだされた (Tsutsui et al., 2002,2003)。　このことは頭頂連合野が視覚対象の空間的位置や運動だけでなく、三次元的な構造を認知する働きがあることを示している。この他に、色彩、動く物体に反応する視覚性特徴抽出ニューロンが一定領域に集中して認められる。たとえば、V4 領域のニューロンは色の認知に関係する。また運動の方向性シグナルは V1 で最初に得られるが、MT 野 (middle temporal visual area) のニューロンの 90%が刺激の方向と速さに著しい選択性を持っている。MT 野は背側路を介して PG 野に , さらに前頭前野（主に背側運動前野）へと情報を送る。さらにこの経路には、V3A(static disparity、静的視差、stereopsis) → CIA(手の形、向き、方位) → PIP → AIP　および　MT(MST) → 7a,VIP,LIP の流れがある。

他方、形や色によって対象が「何か」を認識する対象視の系（システム）である腹側路は V1 － V2 － V3



V4 － TEO － TE、さらに前頭前野（主に主溝腹側部）へと流れる。

メフィストと学生の対話：　視覚と聴覚

学生（S）：視覚と聴覚の関連性について、ご教授頂けることは非常に光栄です。

メフィスト（M）：いきなり難問だね。

視覚性と聴覚性が融合した叙景的な世界が美しく描き出され抒情性が与えられているものが、万葉集にも数多くみられる。たとえば、

ぬば玉の夜の更けゆけばひさぎお久木生ふる清き河原に千鳥しば鳴く（巻 6、925）　山部赤人

春の野に霞たなびき　うらがなし　この夕かげに鶯鳴くも（巻 19、4090）大伴家持

学生（S）：なんかうっとりとしてきます。視覚と聴覚の響きは共有するんですね。

メフィスト（M）：視床の外側膝状体から皮質視覚領に入力した視覚情報（刺激）は、空間情報を扱う大細胞系の背側経路と形象を扱う小細胞系の腹側経路という流れで、前者は頭頂葉に、後者は側頭葉に伝達される。いわゆる、where 系と what 系だ。

学生（S）：第３，４章でしっかり学びました。驚いたのは、視覚系がよく調べられているのに、聴覚系の研究はこれからですね。音の色彩、音の形、音の空間など研究しないと、音楽のメロディ、ハーモニー、ピッチなど説明できないですよね。作曲家や演奏家が「響き」を自分の「頭の中」に持っていると言われますが、

メフィスト（M）：核心を衝いて来るね。おそらく後連合野の働きだけでは、説明できない。前頭前野からの入力が必要だろう。ところで、響き（Klang, sonus ）とは聴覚系が独占する言葉ではない。視覚も皮膚や粘膜の感覚も響きと関連している。音も光もぶるぶるっという皮膚感覚も振動数を知覚するという点で共通している。自然界に存在する倍音系列とどのように対応しているのか、考えたことがあるかい？

学生（S）：祭りの太鼓は皮膚や内臓にも響きますね。そういえば、光も電磁波ですね。自然界の響きをヒトは、いや動物は、身体で、脳で感じとるシステムを備えているのでしょうか？

メフィスト（M）：単細胞のゾウリムシは、外界の刺激に、自然のもつ振動に全身で反応している。

学生（S）：謎をかけられた！

メフィスト（M）：啓示は時に有難いが、心を奪われてはならぬ。

学生（S）：響きの中に、振動する波を捉えたい。そのとき「美しい瞬間、お前はなんと美しい！」と叫ぶだろう。

メフィスト（M）：物理、数学、視覚生理学をやってきた君にも、詩ごころがあるんだね。視覚の研究はものすごく進んでいる。視覚の情報処理のなかに、その視覚構造の中に、音の響き、いや音楽を解明する鍵が隠されている。

視覚情報と聴覚情報の統合が前頭前野で起こる

このように聴覚情報も視覚情報も後連合野内およびさらにそこから前（頭）連合野（または前頭前野）へと幾つかのニューロンを変えて次第に高次化される感覚情報を送っている。とすれば、この異種感覚間の統合や連合は前頭前野で生起しているのであろうか？

これを強く支持する報告が最近発表わされた。ヒトでfMRI を用いて調べたローリアンティらの研究は、前部帯状回 / 内側前頭皮質（ACG/MPC）において、本来異種の感覚 (cross-modal) である聴覚刺激と視覚刺激が文脈的に合致・適合するときには不適合の場合に比べてより強い神経活動が観察されるというものであり [Laurienti et al., 2003]、また、サルを用いたフスターらの論文は異種感覚情報を連合して時間的に処理するという前頭皮質ニューロンの特徴を見事に捉えた研究である [Fuster et al., 2000]。彼らはある特定の周波数の音を 10 秒間サルに聞かせて覚えさせ、その１０秒後に特定の色を見せてその結びつきを学習させた後、音を提示してその音に対応する色を選ばせるという課題を与えた (sound-color matching task)。この課題を遂行中、前頭前野の背外側野で記録された多くのニューロンが特定の音に対して選択的に反応するのが記録され、さらに加えて同一のニューロンがその音に結びついた色に対しても反応した。

この聴覚と視覚の相関は、サルが課題をうまく遂行できなかった時には認められなかった。このことは何を意味するのか。 なんらかの関連を持つ、視・聴覚の領野にわたる事例が提示された場合、これに反応すべく前頭前野のニューロンを含む或る特定の神経回路が形成され、機能的に結びついて、その活動は音→色の提示間に介在する時間差を統合・処理するという形でなされていることを示している。つまりこの神経回路を構成するニューロンが正常に活動することによって、この課題にみられる 音が与えられるという受動的な聴受から色を選び取るという選択への移行に際して、どの色を選び取るべきかという能動的な運動の方向性が規定され、またどのような手順を踏んで運動がなされるべきであるかの運動の順番＝時間的流れが整えられることになる。つまり、与えられた情報を基に、おそらくワーキングメモリーとの関連性の中で、次にどの情報が選ばれるべきかの判断が瞬時に下される。この判断が下されるとき、その指向と判断に基づいて正しい行動＝運動の選択がなされるのであろう。情動的・理性的側面から捉え直しても、この活動には言語の認知、空間を含む認知、情動の表現が包含されている。しかもこの回路の形成は音の聴受から色彩の選択へと、つまりなんらかの状態に続いて起こる運動表現を可能にするいわば「インターフェイスまたは中間」の段階にみられる現象であることを考慮した場合に、高等動物、とくにヒトにおいて、順序ある行動や言語に象徴される種々の表現わすなわち、意味ある行為や思考を形成する上でこの「正しさを指向する判断のモーメント」を成すものとしてきわめて重要である。

音楽・美術における視・聴覚間の共通性

脳内の構成上または機構上に存在すると推量される視聴覚間の類似性と補充性は、小脳運動系にも大脳認知系にも認められる。この点、既に人文科学の側から指摘されている音楽と、美術や建築との間にみられる深い関連性が脳機能の点からも明らかにされよう。音（音楽）・色や形（美術）・言語（文学）がニューロンの働きによって置かれている相関的な関係は、最終的には一体化されて行くものであろう。

と同時に、このような脳内における異質感覚領野の相互的通約性は、これらの異質感覚が各々の領野において、外的な異なる対象によって与えられる受動的な刺激のうちに認知し、かつ人間が自らの手によって能動的に作り出す対象それ自身の内に自覚的・無自覚的に投影してきた " 表現 " そのものに内在する共通性によっても逆証明されるであろう。

美術・建築の内に、あるいはまた音楽の内に、記述され発音されて響く言葉のリズム秩序と同一の数比例が存在することは既に触れられた通りである。視覚に映る調和が聴き取られる調和に一致するという関係は、究極的

には人間を包み込み、人間が絶えず自己の存在との関係からその形態・秩序・規則について思索してきた宇宙＝自然そのものに内在している数的比例の響きの調和に一致するものとして捉えられる。

翻って考えてみれば、視覚、聴覚をはじめ多くの感覚様態を連合野のニューロン活動の連鎖回路により階層性の高いレベルに統合ないし融合して行く仕組みが脳の機構として存在しているということになろう。そこでは、感受され、認知されつつある感覚（情報）が、ニューロン活動の総和としての産物として説明され、大脳辺縁系の活動を中核とする情動（パトス）と大脳新皮質活動の最高の産物である言語（ロゴス）の活動が結びつけられると判断される。

このように感覚情報が脳内において統合的に捉えられるときに、はじめて高い芸術的受用の段階に達することができると考えられるのであり、さらに、そのような統合的活動によってのみ、その意味が理解されるような情報をもたらすものこそが高い芸術性を帯びた作品なのだということになる。音楽が聴覚領野に多くとどまる場合、それはつまり芸術性の低い音楽であるということになるわけで、聴覚から感受されながらも言語野などにも関連しながら既述の回路が形成されるときに真に優れた音楽芸術は成立していることになる。

１７・１８世紀に、音楽が言語との関連性を深くし、器楽演奏においても語りかける演奏が要求された時代のバッハやモーツアルト、ベートーヴェンの音楽が今日においても高い芸術性を評価されているのは故なきことではない。それでは音楽にしろ、絵画にしろ、書道にしろ、彫刻にしろ、芸術家の手によってそのような芸術の表現がなされる時の前頭葉の働きはどのようなものであろうか。あるいはそれが演奏なり創作として表現されるとき脳内の運動系はどのように働いているのであろうか。この問題は次の第４章で取り上げられる。

ギリシア的創造論とキリスト教の創造論

ローマ帝国の成立とほぼ時を同じくしたキリスト教は、帝国の発展・衰退の時期に北アフリカ、地中海周辺地域から広くヨーロッパに伝えられたが、このキリスト教の発展に伴って避け難い問題として浮かび上がったのが、いわゆるグノーシス思想と呼ばれる考え方との対決であり、とくに神の創造の問題をめぐる考え方についての論争であった。

果して、神の「創造」はどの範囲に及ぶのか、というのが問題の根幹をなす問いかけであったが、この間の背景に介在したのが「聖書」に記された神の万物創造の物語と、ギリシア哲学＝自然学における物質の存在と宇宙創造との関連性の問題であった。簡単に言えば、ギリシアにおいて展開された創造論・宇宙論の中では物質ないし宇宙を構成する元素（素材）が何であるかが問われ、かつその元素がどのような状態に置かれているかが問われても、その元素そのものの成立や創造に関しては問われなかった。それに対して、ユダヤ教の教えの中で、すなわち今日のいわゆる「旧約聖書」の中で説かれたのは神による万物の創造であった。当然のことながら、この「万物」の中には「元素」も含まれねばならず、ギリシア的創造論＝物質・宇宙の構成原理の探求を超えて、まず原初におけるあらゆる事物の「基」を成すものの「創造」を神の手に帰すことによって、キリスト教はその中心に置かれた神の絶対性に関する教程を確立することができたのである。

キリスト教ではこれを「無からの創造」（creatio ex nihilo）という言葉で定義し、ギリシア哲学、たとえばプラトンの『ティマイオス』にみられる造物神デミウルゴスによる、諸元素、つまり既に存在している事物を一定の法則に基づいて秩序づける秩序論と区別している。従って、ユダヤ教の考え方をひとつの基盤とし、ギリシア的・グノーシス的考え方との対決の中で打ち出されたキリスト教の創造論（creatio ex nihilo）の考え方に立つ限り、真の意味での「創造」は神にのみ認められることであり、人間が行なう創造行動（と見なされているもの）はすべて「秩序論（もしくはゲシュタルト論）」に属すことになる。つまり、人間にできることと言えば、既に与えられた元素（素材）を種々に組み合わせ、あるいはそれを加工して何かこれまで目にしたものとは異なるゲシュタルトを作り上げることだけであるということになる。音楽においても「音」そのものは要するに元素であり、この元素である波動を組み合わせ加工して響きの新たなゲシュタルトを作り上げるのが、人間の手による音楽の「創造」ということになる。

認知機能と動的神経回路網

一方、ヒトの脳の機能において明らかなことは、人間は自らの脳機能によって何かを認識していること、すなわち、常に自己の前に置かれた対象を知解していること、言葉を換えれば、或る対象という一個の存在、一個のゲシュタルトの組成・組織・構造を解析し、そのものを成立させている秩序（物理的法則）を見究め、そのものを構成している元素の次元にまで対象を解体することによってはじめてそのものを理解する。すなわち、認知することはヒトの脳が与えられた対象そのものを「見通す

（＝見透す）」ことに等しい。これは、とくに研究の進んでいる視覚に関して明らかである。またたとえば、誰か或る人との対話において、ヒトの脳は「ことば」として与えられる「対象」を聴覚において「見通し」それに対する返答を行なう。そのときに、ヒトの脳は言語野だけを働かせているわけではなく、その全体が刻々と変化するネットワーク（神経回路網）を形成させながらこの「見通し」に関与しているわけであり、要して言えば各自・各個の脳の性状によって異なるこのネットワークの網の目によって各自に同一の「ことば」を異なった角度から「見通し」それに対する、もしくはそれに基づく、異なる回答＝神経回路の応答・反応を自らの「ことば」として他者に投げかけている。

第 4 章　　能動的表現と高次神経活動―運動、認知、情動、意欲、記憶など

第 4 章　労働者 , 1909　（荻原守衛 (碌山)、1879-1910）
愛は芸術なり、相克は美なり。

調和のとれた運動

ここでは、能動的活動すなわち前頭前野が関連する運動系＝能動系がどのように機能していくかという問題を取り上げてみよう。音楽を演奏する際の運動系の働きである。視覚系において、演劇を観ること→ものの動きをみることと、聴覚系において、音楽を聴くこと→音の流れ、動きを聴くこととの間には前項において観察されたように視聴の相互的関連性が認められる。これを別の視点から眺めた場合に、しかし演劇または観劇（ドラマ）や音の響きとして捉えられる運動 (波動) に内在し、これらの運動の全体を支配している「調和」のとれた秩序を人は何故に心に思い留めることができるのであろうか。「本能」と称するものによって人間はこの「調和」を感じることができるのか。もしもそうであるならば、それは「本能」と呼ばれる未知の複雑な「知覚神経系」を主体とする回路の働きに大きく依存するものであり、そのような「調和」を感知し得る能力の構造的基盤が必ず脳に存在するからに他ならない。

感覚情報の流れ

視覚系も聴覚系も体性感覚（触、圧、痛、温、冷覚）系も、各々の視床特殊核から入力をうける皮質内の第一感覚野から後連合野（それぞれ後頭連合野、側頭連合野、頭頂連合野）内を段階的に興奮が進行し（形態的には連合線維により）、これらの合流点を感覚性言語野に発展させ、さらに背側の流れ (dorsal stream) と腹側の流れ (ventral stream)　-　さらに加えるに、中央の流れ (middle stream) も存在する [Kawamura and Naito, 1984] ― を作って前頭葉に興奮を送っている。

前頭葉は能動的活動を発揮させる領域で、広義の運動系すなわち、アクション（行為）、自発性を計画し、命令し、実行させる脳の大切な領域である。

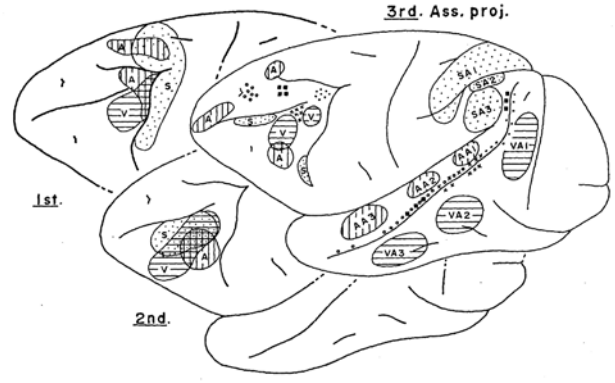
後連合野内の階層性

チャーヴィスとパンジャは、視覚 (V1,V2,V3)、聴覚 (A1,A2,A3)、体性感覚 (S1,S2,S3)――この分け方自体の妥当性を考察することなしに論をすすめるとして――から前頭葉への投射域をサルを用いて調べ、この三つの感覚系が相互関連的に機能しあって形成される第一連合野 (V1,A1,S1)、第二連合野 (V2,A2,S2)、第三連合野 (V3,A3,S3) からなされる投射の終止域の分布について、弓状溝および主溝の周囲部で詳細な検討を行なった [Charvis and Pandya、1976]。

その結果、以下のような所見を得た。すなわち第一連合野からは弓状溝の前後の領域にまとまって終わり、第二連合野からの投射は弓状溝の腹側部領域に顕著に重なり合って終止するが、第三連合野からの終止域は前頭前野のより広い範囲の領域に分散してあまり重複せずに認められるというのである。この三つの主要感覚系による後連合野から前連合野へのこのような特徴ある投射パタンのもつ意味づけをすることは難しいが注目に値する。あえてその解釈を試みると、起始領域の後連合野内においてシナプスを超えて第一、第二、および第三連合野から、各々異なる領域からの投射が行なわれるほど、つまり構成的に高次化された投射系とみなされるほど、各々に対応する前頭葉内の終止域が局所的に重複するものから広域的に分別する形にパタンが変容していると言える。このことを、受容的なアクションから能動的なアクションへと変換する前段階のステップとして、感覚系には集合と分散の様式がみられるとみなすことができよう。このことは、感覚系が次に能動的なアクションに進んで表現の形をとったときにみられる、多様な表現の形、たとえばひとつのメロディー、音色、すなわち響きの色彩性の多様な表現可能性について考える上できわめて興味深い、かつきわめて重要な点である。

なお ,STS 域の広い範囲から前頭前野への投射が存在するが [Kawamura and Naito, 1984]，その一部を加え，彼らの Figs.6 and 7 を改変して図１３に示した [Charvis and Pandya、1976]。

＄　（図１３）



（図１３）図４－０：後連合野内の階層性。視覚 (V1,V2,V3)、聴覚 (A1,A2,A3)、体性感覚 (S1,S2,S3) から前頭葉への投射域 (サル) の分布（Charvis と Pandya, 1976; 川村、1977、改変）。

大脳皮質の " 階層性 " とその発達過程について論ずるには，少なくとも実験発生学的研究や生理学的研究の成果をも加味して全体的立場に立たねばならない。自然界に起こるある現象を一つ下の階層の言葉で表現わすることをその階層の法則に還元するというが，この視点に立って生物学における物質の最高の発展段階の集合体である大脳皮質の領域で正面から「階層性」の問題に取り組むことは、著者にとって将来の課題ないし夢となろう。

5 節　線条体（尾状核と被殻）と運動

霊長類において、高次の認知機能領域である後連合野から主要な運動領域である 4 野や 6 野へ直接皮質間投射が存在しないことは注目に値する。以下にみるように、後連合野からの直接入力が終止する前頭葉内領域から、幾つかのシナプスを経て、純粋意識的・随意運動野すなわち一次運動野 (4 野) に興奮は伝えられるのである。サルの実験によれば、大脳皮質線条体線維の起始細胞は皮質第 5 層にあり、前頭葉内の主溝を中心としたその周囲領域からはもっぱら尾状核への、その背側 (6 野 , 前頭前野) や眼窩面に近い腹側野からは尾状核および被殻の両方への投射がみられ、一次運動野、体性感覚野を中心とする領野からはもっぱら被殻への投射が行なわれている。その他に頭頂葉（尾状核と被殻へ）や側頭葉（とくに尾状核へ）からも線条体への投射が存在することが知られている [Kemp and Powell, 1970; Jones et al., 1977] 。

錐体路と錐体外路

ここで以前から指摘されている「古典的」運動の概念、すなわち、２種類の運動について触れておく。一方は、一次運動野から皮質下の運動領野（脳幹、脊髄を含めて）へ興奮と抑制のパタンを出力し、どの筋を活性化し、どの筋を抑制するかを時間経過的に強弱を定めつつ制御する随意的、意識的、計画された運動で、いわゆる錐体路系が関わる狭義の運動である。

他方は大脳皮質の広範囲の領域からの投射系から成るもので、この皮質線条体投射系や大脳・小脳ループが関与する「非」随意的運動といわれるものである。これが、調和・調節的、かつ、全体的にバランスをとろうとするときに活躍する広義の運動である。乳幼児の運動が「はいはい」、「起立」、「よちよち歩き」から、「一本立ち歩行」へと発達するように、筋肉の発達と並行して動作の一つひとつを確かめつつ不確かな運動を繰り返し実行していくその過程を、神経学的にみれば、次のように捉えることができよう。すなわち、新しい形で後から加わった意識的な錐体路運動系が、進化的には古くから発達し存在している調和・調節的、「無意識的」な錐体外路運動系を一段と高いレベルで包括して発育する姿を如実に示しているのが、すなわち神経学的にみた運動の仕組みである。この現象は、このように発達期の運動学習過程にみられるばかりでなく、自転車運転とか楽器の学習や練習などの、むしろ一般的に人間の運動学習過程にみられるものである。

古典的運動の概念を「中傷」する線条体

線条体については電子顕微鏡を用いた微細構造の研究などの面でかなりの成果が上げられていたにもかかわらず、十数年前までは、神経回路や機能的な研究、まして発生学的研究については遅れていた。すなわち、大脳皮質や黒質から入力を受け、視床や淡蒼球・黒質に出力を与える前脳内の構造物で運動の統合に関係しているという程度の大雑把な理解にとどまっていた。しかし、その後の組織化学的研究により、以下の注に記載されているように大きな成果が得られている。

注]：線条体は細胞構築上、アセチルコリンエステラーゼ (AChE) に強く染まる部分と弱く染まる部分に区分される。前者は matrix compartment (matrix、マトリックスと略す)、後者は patch compartment (patch、パッチと略す)　とよばれる。パッチは striosomes とも呼ばれ、マトリックスにより糸巻き状に囲まれた複雑な配列をしている。ラットの線条体では、胎生 13 ～ 15 日 (E13 ～ E15) でパッチが、E18 － E20 でマトリックスが形成される。その際に黒質からのドーパミン含有入力が最初のパッチ形成に強く関与すると言われている。線条体への入力としては、辺縁皮質関連野からは主にパッチに、新皮質からは主にマトリックスに、また、ドーパミン投射に関しては、腹側被蓋野 (VTA)、黒質緻密質 (SNc) の背側部からマトリックスに、SNc の腹側部と黒質網様部からパッチへの投射がみられる。なお、腹側線条体に投射する VTA のドーパミン細胞はコレチストキニン (CCK)、ニューロテンシン (NT) を共有する。

以上が、線条体に関する研究成果の概略であるが、現段階でこれらのパッチ／マトリックス（patch/matrix）構造および伝達物質、含有ペプチドや受容体に関して、その分布や関連などについて意味づけをすることは困難である。線条体内には 1 種類の投射ニューロンと 4 種類の介在ニューロンが明らかにされている。投射ニューロンは多数の樹状突起棘をもった中等大の細胞（medium spiny neuron）で GABA 作動性、全体の約 80％を占め、淡蒼球に線維を送っている。介在ニューロンには GABA/Pv 含有細胞、SOM/NOS 含有細胞、カルレチニン含有細胞および ACh 含有細胞がある。そのうちのコリン性ニューロンは大型無棘の細胞（large aspiny neuron）で、全体の 2 ％を占めるに過ぎないが、線条体全体に AC h を供給し、その放射状に長く伸びた樹状突起と軸索を介して投射ニューロンに影響を与えており、手続き記憶や条件づけ感覚運動学習に関わる運動制御に大きな役割を演じている [青崎､1999]。高次神経活動という知覚認識、情動、運動が有機的に結びつく領域として、この線条体を含む大脳基底核の分野の研究は益々重要性を帯びてきている。基礎的研究のみならず､パーキンソン病､舞踏病、統合失調症などを含む神経科、精神科領域の難治性疾患の原因究明のためにも非常に重要である。なお、線条体および視床を含む新しい神経回路の知見に立脚した考察は後に再度取り扱う（9 節　参照)。

6 節　高次運動野の機能

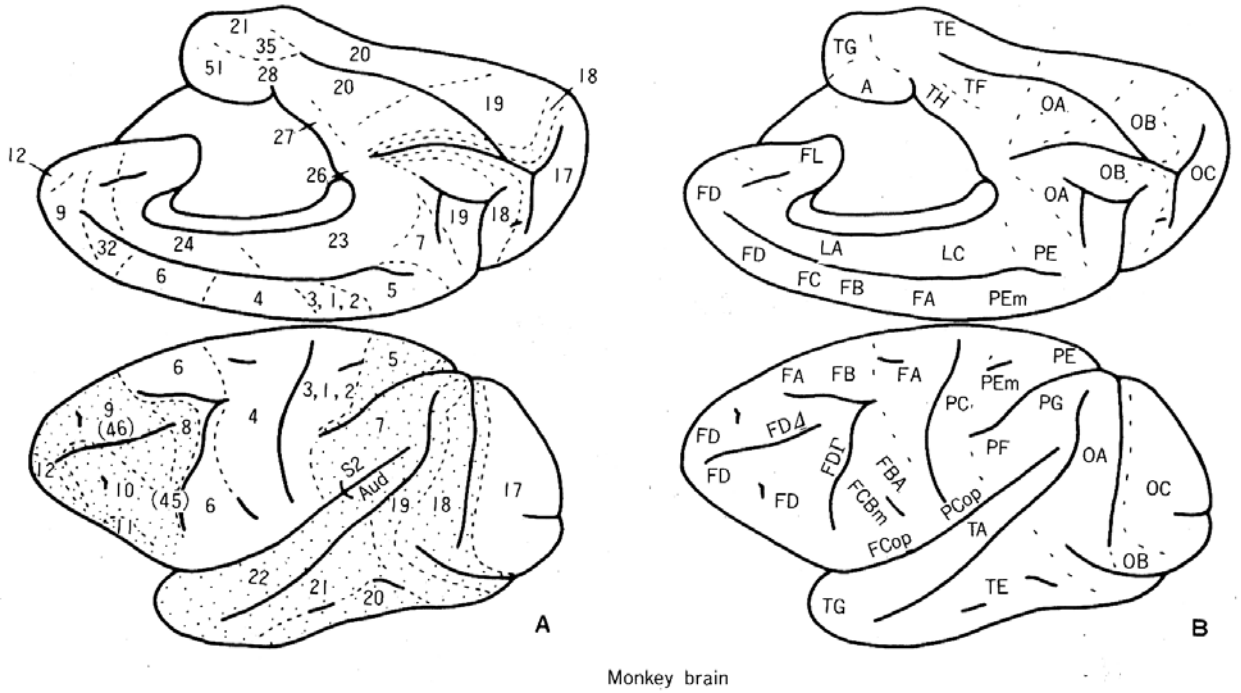
本書の記述の中にサルの大脳皮質領域区分の名称がしばしば出てくるので、ここにブロードマンとボーニンによる大脳地図を図１ 4 に示す。
（$ （図１ 4）

ここで再度立ち戻って、受動的な皮質機能領域である後連合野から能動的な領域である前（頭）連合野への投射について述べる。この後連合野からの多種感覚性の情報が重複して入力する前頭葉内の領域は高等な動物においては、多分に発語などの響きを生み出す運動をコントロールする運動性言語野およびその周辺域に相当する領域と考えられる。言語表現能力を備えた領域自体ないしその近傍域でいわゆる音や形象の運動機能発現への「組み換え」がなされ、場合によってはそれが身体の動きをもたらして、音楽の演奏となり、絵画の創作表現として発展するのであろう。別の表現で言えば音や形の内容が思考され解釈され、その結果が自発性の発露となって表現されてくるのである。

運動前野と前頭眼野

フローチャート式に書けば、感覚野→後連合野→前連合野→高次運動野→一次運動野という図式になる。ここに初めて登場した「高次運動野」とは、この十数年来エヴァーツ（Evertz）や丹治らにより研究されている領域で、運動前野 (6 野さらに詳しく言えば 6DR, 6DC, 4C, 6Va, 6Vb を指す)、補足運動野（内側面 6 野)、帯状皮質運動領が含まれる。

運動前野は 6 野に相当する領野で、自己の身体情報や外界の三次元的位置情報を基にして、行なうべき動作を



Monkey brain

（図１４）図４－６－０：(メモ：追加) サルの大脳皮質領域区分、Brodmann(左)、von Bonin（右）による。（川村、1988、より）

構成・企画することに関与し、背側と腹側に領域的に区分される。そして前者は動作を起こす際に準備し情報を統合する過程に、後者は動作を選択する際に必要な感覚情報を獲得する過程に各々主として関与するというように、若干違った働きをすると考えられている [Hoshi and Tanji, 2002, 2004]。6 野の前方の 8 野は前頭眼野と呼ばれ、眼球運動の発現と調節に関与する。なお大脳皮質内側面には、帯状溝の背側に位置し 6 野に含まれる補足運動野およびその前方には前補足運動野と呼ばれる領域がある。またこれらとは別に帯状溝に埋まった領域に帯状皮質運動野が存在する。以上を総称して高次運動野と呼んでいる。別のところでも述べられているように（3 節、4 節、16 節－ 20 節）、多様化した認知情報に対応して状況に適応した行動を企画し実行することを可能ならしめるためには、上に見たような多様化した高次運動機能の発現と制御の仕組みが求められるのである。

運動野と補足運動野

サルの高次運動野に関する最近の生理学的研究の進歩は著しい。そのためにもサルとヒトの形態（細胞構築など）および機能からみた領域的区分の比較は必須である。その意味でごく最近発表わされたゲイヤー [Geyer,2004] の研究は参照されるべき重要な道標である。

現在、サルの実験結果から種々の運動領について明らかにされていることを下に簡潔にまとめておく。

1）運動前野：入力として頭頂葉（とおそらく側頭葉）から物体（および音）の空間的情報や動きの視覚（および聴覚）情報を受けている。物体の認知→動作への変換→運動のサブプログラム形式→筋活動の出力司令。信号変換、すなわち感覚情報という意味を持った信号を、運動をするための情報に変換する。

2）補足運動野：記憶された動作順序の感覚（「視覚」実験として、丹治、2001）情報に依拠して連続した動作を行なう際に働く。ここには後連合野からの直接の感覚情報はほとんど入力しない。ペンフィールドとウエルチ [Penfield and Welch、1951] によって発見された領域。

3）前補足運動野：運動前野からの入力を受ける。補足運動野の細胞活動と同タイプのものがみられる他に、連続動作の順番を表現しているタイプや次に行なうべき順序が新しいものに入れ替わるときに関与するタイプが見い出されている [Shima and Tanji, 1998a, 2000]。

4）帯状皮質運動野：帯状溝壁面皮質でとくにその前方域は大脳辺縁系との関連が深く、報酬情報とか情動に関する情報に依拠した動作の選択を必要とするときに活動する領域と考えられている。

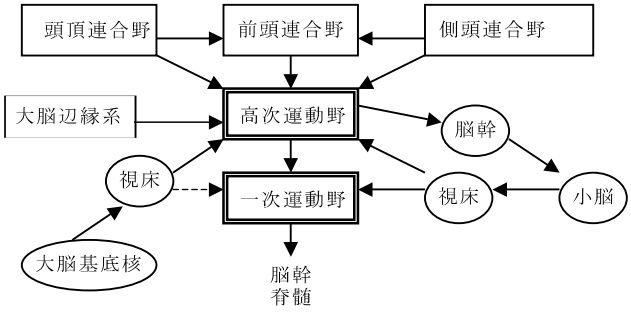
なぜ複数の運動野が必要なのか

以下は『脳と運動』[丹治、1999] よりの引用である。「このように、運動野が多数存在するのはなぜだろうか？。その謎を解く鍵は、運動の誘因と目的性ということ、そして運動を行なう状況・局面への対応ということにある。運動を行なうきっかけは多岐にわたるが、生体をとりまく外界の情報や生体自身の身体情報、そしてすでに脳に収められている記憶情報が、時に応じ、さまざまな組み合わせで運動の発現を促すことになろう。次にそれらの情報を使って、行なおうとする一連の運動の目標を設定し、そのための動作の手順や種類を選択し、それらをどのような時間的・空間的パタンで構成するかという過程に至る。このように、外界や体内の情報および記憶情報は、運動を行おうとする意図の発現のためにも、運動の選択・企画・構成のためにも必要なので、運動の高位中枢へと常に送られる必要がある。それらの情報は、個体にとって意味のある情報として利用ができる程度にまとめられている必要があるが、大脳皮質の連合野に求めることができる。

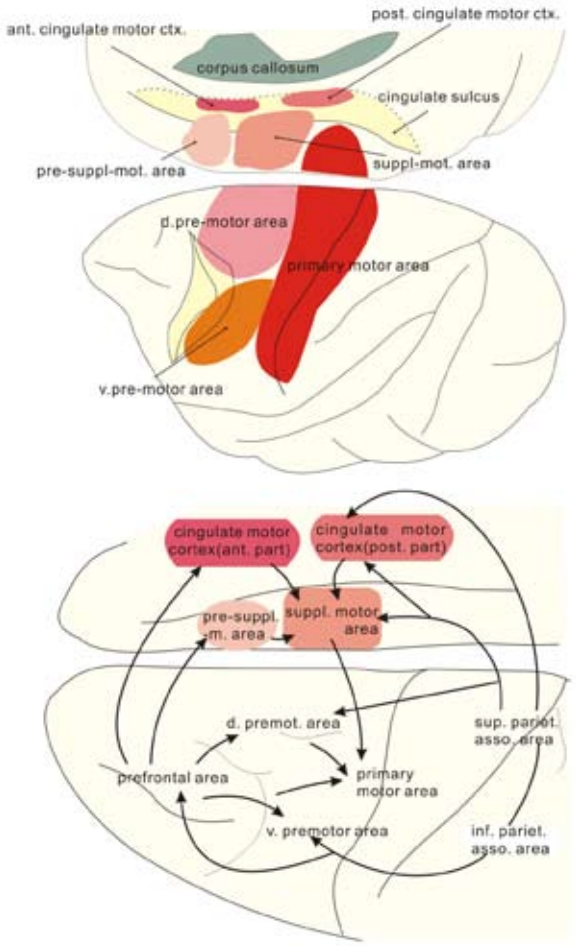
ところが連合野は一次運動野とは直接には結びつきが少なく、密接なつながりは高次運動野を中継して行なわれているのである。したがって、周囲の状況を認知し、その中での自己の位置づけや全身状態を統合的に認知し、さらに運動の目標設定や組み立てに関連した記憶情報を参照するために、連合野の情報がまず高次運動野に送られ、そしてそこを介して一次運動野へと送られることになる。

＄ （図１５、図１６）

高次運動野の脳内の位置づけを模式化して図示すると、図１５、図１６のようになる。前述のように高次運動野は大脳連合野から広汎に入力を受ける。他方、大脳基底核と小脳からも、運動の組み立て、構成や調節に必要な情報を受けている。このような脳内の結びつきに基



(図１５)図４－６－１:大脳の高次運動野を中心とした大脳辺縁系、小脳、大脳基底核との関連を示すブロック図（丹治、1999)。



（図１６）図４－６－２：高次運動野内の細かい領域とそれらの間の線維連絡を示す模式図－前頭前野から高次運動野を経て一次運動野へ刺激が流れる　（Tanji, 1999）。

づいて大略的に位置づけをするならば、高次運動野は運動発現・調節のための情報入力と、運動出力の情報形式の橋渡しをする、インターフェイスを構成すると表現してよかろう。」

音楽における「運動」

以上の点を要約して音楽にあてはめた場合に、音楽のいわゆる「作品」として形象化されている「表現」は、それを演奏者が「運動」（すること）によって（とくに量プラス速さの組み合わせによって、また呼吸によって変化する瞬間的筋力の変化によって）成立する能動的表現と､それを聴くことによって伝達される受動的表現（聴受におけるパトス／アフェクト）との二つの面に分けて考えられる。後者の受動的表現については、前項で多少論じたので、ここでは聴受におけるアフェクトに対比されるものとして、前者の問題、すなわち、演奏におけるアフェクトの問題に主たる焦点をあてて考えてみたい。ごく一般的に言えば、聴き手の心の状態は音の響きの様態によって刻々と変化してゆく。だが音の響きの性状は演奏者の運動によって作り出されるものであるから、聴き手の心の状態は演奏者の運動の如何と深い関係にある。演奏者の運動は何か「表現」を音の響きとして伝えるための手段であり、演奏者が楽譜から読み取り、脳内において内聴している内的響きを聴き手という他者に伝えるべく、これを外化させるものである。とはいえ、演奏者においても内的響きがそのまま外化され、外的響きとして伝えられれば済むという単純な経緯をとるわけではなく、楽譜から読み取られ内聴されている響きを、聴き手に正しく聴受してもらうためにはどのような響きとしてそれを外化すべきかの判断もまた同時に要求されてくるのである。

つきつめて言えば、聴き手の心の状態は演奏（者）の情動／感性（パトス／アフェクト）に基づく運動と直接的に対応しているのである。いささか厳しい見方であるが、少なくとも音楽における運動（演奏）は、自己の運動がもたらす結果の如何に対する、すなわち演奏者が、いま自分が奏でている響きが正しいものであるかどうかを自分の耳で聴き確かめ、必要に応じて自分の作り出す響きを修正するべく次の音の響きをコントロールしていく判断力によって統御される。この際、その統御（判断）の根拠となるものは美的センスであり、自覚的・無自覚的に感受される自然の秩序や宇宙の秩序といった、人間に種々な形で働きかけてくる、人間の心をなだめ、浄化して昇華させる高次の美的秩序である。

情動と運動との結びつき

ここで、情動 (pathos/affectus) と運動との関連について考えておきたい。運動とは何かという問いに対して、大脳皮質の一次運動野（4 野）が興奮することにより、そこにある第 5 層の大型錐体細胞からの神経突起内の電気的伝導が下行性投射神経路を通って、脳幹にある脳神経運動核ニューロンや脊髄にある前角運動神経細胞を興奮させ、その活動が身体の筋肉を意志の発動として動かす運動という、「錐体路」といわれる神経投射系の活動の結果である、と一応の回答を出すことはできる。しかしそれだけでは不十分である。

人はいつも意図的 / 随意的な運動にだけ支えられているわけではなく、身体全体の運動系を調和させ、統御し、運動を円滑ならしめる機構が動物にどのような形で備わっており、機能しているのかについても検討しなければならないからである。前脳（＝終脳と間脳）が未発達の動物にも既に、外界に働きかける上で必須の基本的な、重要なシステムが能動的作用として備わっており、これが「錐体外路系」といわれるシステムである。そのなかには、小脳を中心とした回路、大脳基底核を中心とした

回路、脳幹網様体や脊髄を中心とした回路がある。そしてこの「錐体外路系」は動物一般に基本的な形態的基盤を提供するもので、「錐体路系」よりも系統発生的に古い運動系のシステムである。

さらに、呼吸、循環、発汗、消化、食欲、性欲など自律神経系が関与する広い意味での運動がある。この自律神経系は交感神経系と副交感神経系という互いに拮抗する機能をもつ２つの系統から成っており、これまた動物に本来的に備わっている基本的なシステムであり、大脳辺縁系を中心とする情動系回路と形態的にも機能的にも密接に結びついている。下等動物を含めた動物一般として脳幹レベルにみられる呼吸、循環、唾液分泌や性行動、摂食行動、意識、睡眠などに関与する自律系機構、さらには扁桃核、海馬を連絡する情動・記憶の神経系や視床下部、下垂体（ホルモン系の元締め）を中心とする副腎皮質、甲状腺、性腺を含むホルモン調節系（それぞれ HPA 系、HPT 系、HPG 系と略記される、後出、26 節、参照）が厳然として存在する。さらにより高等な動物になると、前脳が発達するにつれて、大脳基底核、大脳皮質、とくに新皮質、その中でもとくに前頭前野を含む前頭葉皮質が著しく発達してくる。

このように、動物の発達史に沿ってみると、脳幹から大脳辺縁系さらに大脳基底核（線条体、黒質など）次いで大脳新皮質というように脳機能は高次化されて来た。その大脳新皮質において、（体性、聴、視、味、嗅などの）種々の感覚が知覚野で知覚・認知され、次いで、後連合野に備わる認識機構によってより高次なものへと発展的に組み換えられていくのである。

運動系と辺縁系の接点：「意欲、βουλη」

一方、皮質連合野の発達に即して言えば、聴受にあずかる受動的な後連合野がはじめに機能を発揮し、その次の段階で、動物間のコミュニケーション、協同作業を中心とする労働、それに加えて、道具を使用して環境（自然）へ能動的に働きかける協同社会体制の中で、前頭葉、とくに運動性（能動性）言語野を含む前頭前野が発達してくる。また、終脳の内側面には中古皮質に属し、線維結合上からも大脳辺縁系と運動系の接点に位置し、報酬の価値判断に基づいた運動選択、すなわち自発性の行動発現に関与すると推察される、帯状回（とくに前方域 24 野）と呼ばれる領域がある。

すなわち、これに関連して、サルが或る現行の動作を選択し続けると、正解のときに報酬として与えられるジュースの量が漸減するという状況下におかれたときに、サルがその動作を変更して新たな適応条件を見い出したときに再び正当な報酬が与えられるというパラダイムを施行させて、動物の「意欲」について調べようという実験が島 と丹治よって行なわれた [Shima and Tanji, 1998 b]。その際に、別の動作に切り替えたときに報酬量が増えるというような条件を見い出して、新たな行動を選択しようとしているときに特異的に反応（応答）するニューロンが帯状回（より正確には帯状皮質運動野）の前部で見い出された。

また設楽らによっても同様な結果が発表わされた [Shidara and Richmond, 2002]。彼らはサルを訓練して、スクリーン上の色が変化したときに握っていたバーを離すことを何回か連続して成功したとき、報酬（ジュース）が得られるという行為をさせた。このとき回数を時に応じて変化させて、サルが表示ランプでそれを分かるようにした。報酬獲得回数が近づくにつれて、サルの前帯状回のニューロン活動が活発化したことを示したのである。この部位は終脳外側面の前頭前野との間に相互連絡がみられ、両領域ともに中脳腹側被蓋野 VTA から A10 ドーパミン投射を強く受けており、意欲に関係する領域と考えられている。

意思決定と頭の切り替え

意欲や意思決定に関するこの問題は、ヒトにおいても重要な研究課題であり、最近になって、fMRI や経頭蓋的 (低頻度) 磁気刺激法 (transcranial magnetic stimulation, TMS) を用いた画像解析の研究 [Bush、2002 ; Rushworth et al., 2002] がヒトでなされ、意欲的な考えや課題遂行に当たっての「頭の切り替え」に関連して、前部帯状回領域が活動するという成果も得られている。このような研究から霊長類、とくにヒトの前頭葉には意欲、情操、能動的動きなどにそれぞれ関与する皮質域が存在し、この領域が障害されると運動性麻痺、運動性失語、自発性（あるいは運動性）低下、情緒不安症などいわゆる能動性機能障害の症状が現われると考えられている。

このように、感覚器官そして視床を経て大脳皮質第一感覚野に到達した電気的な神経細胞の興奮が、幾つかのシナプスを介して運動領に達し、運動（＝能動的行為）が起こるのである。動物の感覚器官として嗅覚と味覚は重要で考察を欠くことができないが－とくに嗅覚刺激は扁桃体に入力されるため、海馬も含めた大脳辺縁系と深い関わりを持つことになるが－，ここではサルやヒトにおける認知機能のなかで大きな発達を遂げた視覚系と聴覚系に焦点を合わせて論じる。眼の網膜内および内耳内の感覚細胞が各々外界からの刺激を受けて、興奮はいくつかのニューロンを代えて視床に伝達される。そこから

視・聴覚の興奮はパブロフが大脳皮質の分析器と呼んだ第一視覚領 (V1) および第一聴覚領 (A1) に伝えられる。これが認知に関わる神経経路の第一歩である。

このような認知作用の基本的役割を担う大脳皮質のニューロン群は各々特徴ある個性を備え、細かい領野に区分されてはいる。しかし、形態学的に区分されていても、よく研究されている視覚系皮質でも機能的には充分に解明されているわけではなく、既述のようにとくに聴覚系皮質に関する研究は遅れている。

7節　背側神経路と腹側神経路－視覚系と聴覚系

「where」と「what」の二つの経路

視覚系皮質内興奮伝達における背側および腹側神経路 (dorsal and ventral pathways) に相当するように、聴覚系皮質においても後連合野から前頭前野への興奮の流れに同様の経路が存在すると考えられ、ここでも「where（どこ）」と「what（なに）」の機能が推定されている [Romanski et al., 1999 ; Kaas and Hackett, 1999] 。いわゆる「what/where モデル」と称されるものである。

まず、視覚系に関して言えば、外側膝状体から第一視覚領皮質に達した視覚性興奮は１７野から５野、７野 へと向かう背側路と、１７野 から TEO,TE,TG 域へと向かう腹側路と２つの経路をとって段階的に進行することが知られている。背側の流れは「where」機能として捉え得る視空間（visual-spacial）に関連し、後に「how (いかに)」機能 (vision for action) を担うとの提唱もなされた。腹側の流れは「what」に、すなわち 対象認知（object recognition；vision for perception）に関連するとの見解が示されている [Milner and Goodale、1993] 。後者の流れはさらに情動とも関係を持っている。いずれにせよ、これら後連合野における視覚認知・認識のなされ方は実に多様である。その変化に富んだ連合線維の働きによって、ニューロンレベルでの多様な組み合わせができ、調和した活動が起こったとき、object(人物、風景) が描かれる下地が準備されると言うことになる。

上記のように「背側の流れ」および「腹側の流れ」の概念は、元来、後連合野内の興奮の伝達経路に対応して使用されたものであるが、次のステップである前頭葉ないし前連合野へ向かう経路をも含めて、すなわちより広い視野に立って解釈し考察することができる。実際、しばしば本書の中で、文脈上明らかな場合には、とくに注釈を加えることなしにこの意味で用いられよう。さらに拡張すれば、前頭葉で「処理」された情報を、少なくとも一部、同様の神経回路を介して逆方向に伝える (backward propagation)、前連合野から後連合野への伝達経路を「背側と腹側の流れ」という言葉の中に包含し得る。その段階に進む前に、まず、後連合野から前連合野への伝達経路、すなわちその皮質・皮質間投射系について以下にまとめてみる [川村、1977, 1988 を参照] 。が、その前に、前頭葉内の運動前野への投射について言及しておく。この投射系はルピーノとマテリらによって、近年サルで逆行性標識法を用いて詳しく調べられた [Matelli et al., 1998; Luppino et al., 1999, 2003; Matelli and Luppino, 2000]。　専門的内容であるが重要なので、注] として以下に概略を記述しておく。

後連合野→前頭葉の投射について要約すると、まず、5 野からは弓状溝上枝に隣接した背側域（背側運動前野）へ、PG 野 (7a proper) からは前頭前野の内の主溝を含んでその背側域（46 野）へ連合線維が送られる。また、頭頂間溝壁（IPS wall）内の AIP からは腹側運動前野への投射が存在する。各投射系は各々に独自の機能的な特徴を備えている。

すなわち、以上の背側経路は主溝の背側域（９野）への他に運動前野 (6 野) という一次運動野 (4 野) 前方に隣接した運動関連域に直接投射する成分がある。他方、側頭葉前方域（主として TG 野）から前頭葉に向かう腹側経路 の終止域は、前頭前野内の主溝の腹側域（10 野および一部の 45 野と 46 野）に相当する非運動野である。これら後連合野からの多種のモジュール (module ← modus=measure, mode) がそのまま一義的に能動的性格を有する一次運動野に送られてしまうとすると、これらの流れが各々に備えている役割を一つの全体的機能にまとめ上げて、一個のゲシュタルトとしての事象の全体を認知するところが欠落し、結果として、おそらく各々の投射が個々ばらばらの動きとなってしまい、まとまった形での行為（action）およびその投射によってもたらされる形象は成立しなくなるであろう。つまり、高次神経活動の機構、すなわち「心の仕組み」をコンピュータ用語を使って説明すると、日常用いているコンピュータと違って、課題ごとに処理する領域を異にするモジュール型になっていると言える。

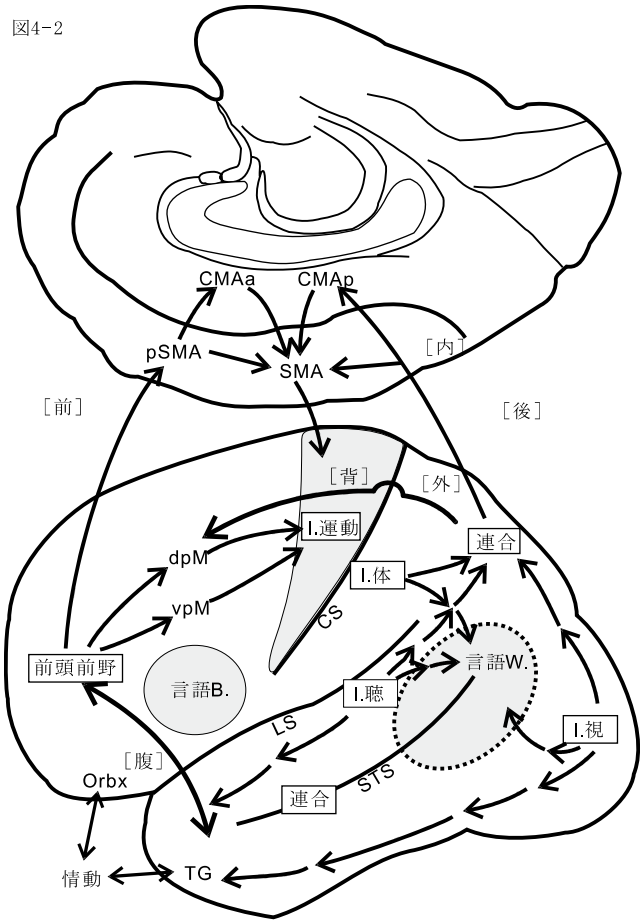
対象の空間的配置と形象の認知

視覚系で明らかにされた上述の神経経路の構成が、聴覚系においてどの程度の類似性をもって認められるかという点が次に論議の焦点になる。繰り返すが、両感覚系には共通して以下の２つの流れがある。すなわち、頭頂

連合野を経由して前頭葉の背外側野（主溝の背側域、９野）および背側運動前野 (6 野) に向かう興奮の流れ (広義の背側経路)、および側頭葉前部～極部を経由して前頭前野の主溝に接する腹側域 (10 野) に向かう興奮の流れ (広義の腹側経路) であり、それらの存在が霊長類（サル）の脳で、最近、とくに聴覚系においても [Rauschecker, 1998; Rauschecker and Tian, 2000]、確認されている（図１７）。

視覚、聴覚の情報は共にこの２つの経路に分離されて処理される。背側経路は自己を中心として (egocentric) 物体（視覚的または聴覚的対象）がどこに (where、空間関連の側面)、どのように (how) 配置されているかという、視聴覚刺激の空間的位置や動きの情報を処理することに関与している。ヒトでの PET を用いた研究でも、右側の下頭頂小葉が聴覚性の空間認知に関与していることが示されている [Weeks et al., 1999] 。他方、腹側経路は、視覚的または聴覚的事象 (event) がゲシュタルト（形や色；旋律や音色、18 節、19 節、20 節で詳述する）としてどの様なもので (what、対象関連の側面)、どのような意味ないし評価 (evaluate emotionally) がなされるかということに関与している。勿論ここでみた投射系の役割について単純な説明を下すことには相当な無理があるであろう。この数年間、この分野の研究が進み、従来の見解が見直されつつあるが、なお今後の研究が必要である。

しかし、単純な形（点や線）から複雑な形象を認知し、色彩や動きなども加味されて情動的な視覚反応も示されるようになるこの視覚系のプロセスを視覚系のヒエラルキーの機能現象論として理解することは充分に可能である。



（図１７）図４－７：視覚および聴覚刺激の皮質内伝導を示す模式図。後連合野と前連合野を結ぶ（広義の）背側経路と腹側経路、および運動関連領域との関連を示す (川村、2002)。

聴覚系処理過程についての難しい論議

同様に、聴覚系にも振動数に対応した（単）純音、基音から倍音、複合音、（協）和音、不（協）和音、メロディー、ハーモニー、さらに、リズム、ピッチ（これは、脳幹、小脳レベルの事象が大きく関わるようである）などに関連した認識機構の問題が入ってくる。音の長さ、音と音との間の間歇（音程や休符）、音階を伴った動き、リズム等々についても併せて考察はなされねばならない。

この点に関して、最近 "Nature Neuroscience " 誌上に掲載された ベリンおよびツアトールとロマンスキー の間に交わされた討論は興味深い [Belin and Zatorre、2000 ; Romanski et al., 2000]。 すなわち、ベリンとツアトール (2000) は聴覚性の処理過程に腹側経路と背側経路が存在し、ロマンスキーら (1999) やカースとハケット (1999) が提唱した what/where モデルを大筋で認めた上で、what/how モデルという考えを提示した。すなわち、ベリンとツアトール (2000) が説明するに、腹側経路は音の源が何であるか (what) を同定することに関連するが、背側経路は対象となる、複数個の音から成る響きが次々と発せられて、いわゆる音楽、もしくはひとつの音の事象が形成され、時間とともに経過していくとき、それらが如何なるもの (how) であるかを認知することに関連すると考えた。

そして、この後者 (how pathway) はスペクトル運動（spectral motion）の正確な分析に基づく「 "where-in-frequency" または "how"」であるとした。そしてこのスペクトル運動とは、周波数（振動数）空間における聴覚性エネルギーの最大値の位置変化に対応すると述べている。

また、この聴覚性のスペクトル運動は周波数の次元（ディメンジョン）に沿った基底膜上の聴覚エネルギー運動と考えられ、網膜上の光の運動と考えられる視覚性空間運動エネルギー (spacial motion) に同類のものであり、共に感覚上皮に起こるエネルギー変化 / 変換の分布に対応すると言う。しかし、これらのモデルには実験

による証明が必要であろう。ここでベリンとツアトール (2000) は、言語認知 (speech perception) においては、腹側経路は話者の同定 (what) に、背側経路は聴覚性空間処理過程を通じて言語内容の抽出 (how) に関与すると提唱している。それに答えてロマンスキーら (2000) は上側頭回に位置する caudal belt という領域は、聴覚性の運動過程におけるスペクトルと空間の両者の要素を結びつけているスイッチボードのような役割をもち、where pathway の起点となっており、ここから能動的話者としての speech(話し言葉) の過程が始まると考えている。そして、腹側経路および背側経路という２つの大きな流れだけでなく、聴覚認知の様々な面に対応する幾つかの小さな流れ（ルート）からも構成されていると思われる [Kaas and Hackett, 1999]。

ブレイン・イメージング

上側頭回の内側部および後部は帯状回前部などと共に、とくに左側で、MRI(Magnetic Resornace Imaging), PET(Positron Emission Computed Tomography), SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography) などを用いた画像解析の結果、多くの統合失調症患者で脳萎縮部位として注目されている領域である [Hirayasu et al., 2000; Shenton et al., 2001; 鈴木と倉知、1997, 2001]。因みに、PET、SPECT は陽電子（ポジトロン）放出核種によって標識した放射性薬物（トレーサー）を投与し、放出されたポジトロンが物質中の電子と結合して消滅する際に発生する消滅放射線（γ線）を体外から検出することにより、局所脳グルコース代謝や血液循環量を指標に三次元的に表示する脳機能賦活研究法である。なお SPECT では、脳血流のほかに神経伝達機能を測定することが可能であり、今後、空間解像力を高めて、中枢性アミン系の機能障害の病態解析イメージングや治療薬の受容体占拠率の測定など臨床応用が確立されると思われる。

一方、これらの系のうち、興味深いのは自己を中心としての認知（egocentric perception）に関わりのある背側経路からの投射にみられるものである。すなわち、背側経路から一次運動野（４野）への直接の投射はないにもかかわらず､4 野と強い結合関係を持つ運動前野（６野）に投射を行なっている。これと対照的に、ゲシュタルトや情動の処理と関わりのある腹側経路からは４野にも６野にも直接投射されることがないが、その前段階として前頭前野（皮質）の 10 野に投射がみられる点である。視覚系についても、聴覚系についても、後連合野で受容され、処理された上述の情報が、更なるステップとして能動的 なものに転化され、たとえば演奏や彫刻といった目的行動に進行されるためには、これを具体化させるための適応的な行動（運動、動作）がなされる必要がある。前頭前野を介する神経回路を経て運動系に高次神経活動が伝達されるということは、それらのモジュール情報が能動的発現をするに際して、その前段階において前頭前野で組み換えられ、還元を受けるという行動への意味づけをする上に必要な変換器の役割を演じているものと思われる。その意味で視覚および聴覚の後連合野から前頭葉への２つの投射経路 (背側および腹側の経路) について考察を深めることは重要である。

視・聴覚間から運動空間への写像変換

頭頂葉および運動前野に存在する空間定位の認知ニューロンとその活動については、視覚性のものについては以前から知られており、また聴覚性のものについては、類似した応答特性を持ったニューロンがこの２つの異なる大脳皮質域で存在することが、最近、ヒトにおける PET を用いた検証などによって明らかにされてきた [Andersen et al., 1997; Rauschecker, 1998; Bushara et al., 1999] 。これによれば、背側経路の空間情報は比較的 " ダイレクト " に運動の企画（プログラミング）に利用されているようである [Wise et al., 1997] 。視空間、音空間から運動空間への写像変換 (conversion) がこの経路を用いて比較的容易に施行される。その動的処理を行なうための感覚情報経路と考えられるのがこの背側経路である [Goodale and Milner, 1992] 。

前頭前野で状況 / 文脈に応じて情報が処理される

他方、視覚および聴覚領内を腹前方に流れ、すなわち、側頭葉前方域に興奮が伝わったのち、鉤状束を通って前頭葉の（少なくともサルの段階では）主に前頭前野の腹外側部への投射を行なう系がある。この経路で運ばれる「ゲシュタルト」（全体的ハーモニー、色彩、音色も含めた形象の総体）の情報は、背側経路で運ばれる空間情報と比べると運動情報との関係は直接的ではなく、比較的距離を置いているようにみえる。また、情と結びついたより細やかな情報を伝達しているように思われる。視聴覚情報を運動情報に変換するに際して、前頭前野内の前頭葉腹（外）側部（１０野）のニューロンを発火させて、このインターフェイスで情報を処理してから、それを運動系に伝達させるという方式をとっているのである。

芸術鑑賞とウェルニッケ野

われわれは絵画や彫刻を鑑賞するとき、そこに表現された内容や概念や思想を理解しようとする。仮にそこで表現され形象化されているものが具象的なものであれ抽象的なものであれ、この意識作用に変わりがあるわけではない。その際の脳内活動は、視覚性言語、つまり文字（信号の信号）の認知として捉えられるものであって、主として角回で行なわれる。さらに難しい解釈であるが、高度な視覚信号の「音楽的」認識（音階、音程、ピッチなど）である楽譜の読みというものがある。これは視覚と聴覚との接点である縁上回を中心とするウェルニッケ野でなされると思われる。

音楽は楽譜として、つまりここで問題にされているように一種の文字記号として書き記されるが、その記号によって表わされている響きの法則を支えているものは数秩序であるから、これに併せて数に関与する皮質中枢にも情報が伝達され（なお、臨床的には失計算症状は頭頂葉内のこの部位が障害されたとき現れる）、文字記号がそこで数秩序の響きへと組み換えられていると判断される。美術においても色彩のベクトル間の秩序や、建築における数比例など、音楽と同様の処理経過は存在すると考えられる。

受動性と能動性

これまで見てきたように、受動的行為である鑑賞に限っても、音楽的性格と絵画的性格には相似かよった点がみられる。霊長類、とくにヒトの前頭前野の外側部は、記憶や思考といった認知機能に重要な役割を果しており、後連合野内の背側経路およびその延長である前頭前野の背外側部 (dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC) は、眼球運動や目的志向的な課題や作業の遂行に関わる能動的な記憶であり、運動ないし行動に導くワーキングメモリー（working memory、作業記憶または作動記憶、詳しくは後述 10 節、19 節）の諸機能の内の空間タスクに関与し、腹側経路およびその延長にある腹外側部 (ventrolateral prefrontal cortex, VLPFC) は色や形の（逆転）弁別課題や go/no-go 課題の学習や情動評価に基づく意思決定に関与していることが解明されてきた。しかもこれまでの記述から当然帰結されるように、視覚系において後連合野から前頭前野への背側および腹側の２系列の投射がみられるのと同様に、聴覚系にも両系列は存在する。そして聞きことばの認識、すなわち、感覚性言語野（ウェルニッケ野）も包含されて、サルの前頭前野内に、背側経路は主溝の背側部位へ、腹側経路は主溝の腹側部位への投射がなされる（Kawamura and Naito, 1984）。

なお、これら前頭前野の両部位から、シナプスを介して皮質連合線維が前頭眼野や運動前野を含む弓状溝前方域に軸索を送っていることから、前頭前野の広い領域からの情報がここ弓状溝前方域近傍で統合されると考えられる。一方、ヒトの前頭前野はサルに比して格段に発達している。このことから推察して、弓状溝前方域、とくにその腹側部（弓状溝下枝の前方域）は進化論的にみてヒトの段階に至って運動性言語野に発達すると思われる領域で、この領域の神経活動により表象活動が生まれ、その結果を概念化して、さらに能動的に表現し得る機能をもつヒトの脳が形成されると考えられる。ヒトの前頭葉の障害ないし機能低下として、狭義の運動障害の他に、広義の能動性の障害として、認知症、自閉症、保続などの知的ないし精神的な機能低下をも考察の対象となる [Luria, 1973; 川村 ,1985; Goldman-Rakic, 1996; Miller and Cohen, 2001]。

数に関する情報

ヒトの精神活動と直ちに結びつけ得る考察をすることは難しいが、サルの頭頂連合野に属する上頭頂小葉（主に５野）において、動作回数という数の情報に基づいて動作を切り替えるという能動的機能の存在を示唆する注目すべき研究が丹治グループによって行なわれた [Sawamura et al.,2002]。

その研究とは、日本ザルに或る動作（たとえばレバー押し、PUSH）を５回連続して行わせるように条件づけた後、別の種類の動作（たとえばレバー回し、TURN）を同じく５回連続して行なわせ、再び元に戻って初めの運動を選んで実行させるという一定の動作回数による条件づけを行わせた。このように５回ずつ２種類の動作を反復する課題を与えたとき、この回数情報処理の課題実施中に前頭前野のニューロンには応答がほとんど観察されなかったが、この課題と関連して、上頭頂小葉（５野）において、サル自身が実行した運動の回数を反映する（動作回数に選択性のある）ニューロン活動が動作遂行時の待機期間中に見い出されたというのである。なお、この実験の課題設定は動作回数の区別を行なっているものであり、数の概念の認知とは別問題である。

しかも、５野の腕、肩の体性感覚領野に反応は限局しており、両側皮質５野に GABAA 受容体アゴニストであるムシモールを注入して神経興奮性を局所的に低下させると、５回の動作を正しく反復することが著しく困難になった。従ってこの動作時に出現わする５野のニューロ

ン活動は、次に行なう動作を選ぶために必要な情報、すなわち回数情報処理に参与すると考えられた。因みに前頭前野のニューロン活動は、ある動作が他の動作に代わるときに観察されるので、動作の切り替え、あるいは状況の処理に必要なものではないかと推察された。この研究の示すところは、行動には時間的要素があり、サルは実行した行動に基づいて次の動作を選択するということである。

次いで丹治らは、最近、サルに黄色の円、青い四角、赤いバツ印の３種類の図形をランダムに、1 秒間隔で 0.5 秒間見せて訓練した後、見た順序に図形を触れさせるという実験を行ない、このときに、前頭前野外側皮質（主に４６野）のニューロンが選択的に活動することを見い出した [Ninokura et al., 2003, 2004]。この実験結果は重要な意味を含んでいる。すなわち、上頭頂小葉で継時的に認知された情報（この場合は視覚刺激による神経活動であるが、聴覚系も同様かと推察される）が皮質・皮質間線維により前頭前野のニューロンに伝達され、その情報に基づいて、先に詳述した（6 節　参照）高次運動野内の運動前野、補足運動野や前補足運動野などの諸領野における神経活動によって、状況・局面に応じた動作を遂行するための手順や種類が選択され、企図されて運動目標が設定されるという可能性を強く示唆するからである。

ヒトの脳の中に、数の概念が次第に形成されていくまでには、共同社会生活の中で 自分がどのような順序で、複数の行為を何回か経験していくかという過程が必要である。以下に、数の概念、計算、言葉などの関連について、若干の考察を試みる。

著者は精神科医として最近以下のような症状を呈した６１歳、右利きの男性統合失調症患者を診察した。彼は左側の頭頂連合野と後頭連合野と側頭連合野の境界領域（角回の一部を含む）に脳出血を起こし、手術後に計算障害、とくに数字の場所的価値すなわち一位から十位に上がる算術操作が困難で、数の認知の障害、手の指を示しても中指や薬指をとくに呼称できず、また示されている指の何本かを数えられず、左右認知の障害、鍵や腕時計を示しても名称が正確に言えず、用途も説明できなくなった。いわゆるゲルストマン（Gerstmann）症候群と呼ばれるものである 。

ゲルストマンの 4 徴候とは（１）手指失認、（２）左右失認、（３）失書、（４）失算を言うが、通常見られる症例は不完型である 。この患者は 1 から 4 ぐらいまでの数は辛うじて認知できるが、筆算や暗算で和が５本の指の数以上になると正しく答えられない。手指の数や左右の質問や話になると保続（perservation）傾向が認められる。簡単な会話をしている間は相手の質問内容は理解できる。すなわち感覚性言語障害（ウェルニッケ失語）はほとんど見られない。が、この脳部位の障害で数の概念を把握することが非常に困難になっている。ＣＴ検査の結果、出血巣は直径約３－４cm 大でブロードマンの５，７、１９、２２、４０野が障害されている。つまり聴覚認知、視覚認知、空間認知、感覚性言語理解などに関連する皮質機能領域を含んでいる。

ところで、小児の発達において数の概念の理解は、言葉の発達に並行していると考えられるが、数の認知は聴覚性言語の発達に比べてかなり遅れ、言葉で１，２，３･･･と言えても、二者間の大小を認識するのは手指を使って１，２，３・・・の概念を確かめつつ把握するという後続の過程を必要とする。しかる後に数の読み書きの段階に進む。左頭頂葉に病変を持つ患者にみられる計算機能の障害は上記の頭頂、後頭、側頭の３つの連合野が相接する皮質領域の近傍の病変によると考えられる。考えてみれば、計算するという技法行為には、数や加減乗除の演算の意味を理解し、その法則（ルール）に従って解答を算出し、しかる後に正しい数字を検索するという多くの複雑な要素、手順が含まれる。このように見てくると、計算機能が言語機能に類似していることが見て取れる。つまり、言語機能においてまず単語を覚え、一般的には母親を中心とする家族集団とのコミュニケーションのなかでその言葉の意味を理解し、新しい言葉を獲得すると同時に前に覚えた言葉を模倣し、その語彙の中から言葉を検索しながら文法規則に則った会話を成立させるという働きに、数概念の理解過程、計算機能の発達といった過程が類似していることに気づく。

数・音・語

乳幼児が言葉を覚える過程をみれば明らかなように、視覚認知による文字を通してではなく、聴覚を用いて断絶音のつながりを言葉／単語として理解することに始まる。しかも、母音のみしか発音できず、子音を発音できない時期から、既に大人の言葉を音として聴くことによって言語は記憶の中に蓄えられているといえよう。この脳内機構が発育の初期から活動するので、すでに活動している脳幹のリズム機能と結びつけられて、音の高低、長短、強弱が素朴な形で認知され、複数の連続する音の気持ちよい流れを反映してヒトの脳に刻み込まれる。外界（宇宙）の響きのリズムに一致した数比例の法則に従っていわば音楽的に言葉の連続性が獲得されるように思わ

れる（前述、第３章、参照）。

このように考えると、音楽における音の認識のプロセスは言語の規則性、すなわち音声・音韻的、用語論的、統語論的、意味論的な認知／知識の体系や、上に見てきた数体系の形成、記憶とその使用の基準に驚くほど一致している。数と語と音とは各々の認知的理解において、検索行為において、要素を配列する統語的法則性において、特殊な独自性を有しながらも、これら三者は一体であると言えるほどの共通性をもった近縁関係にあると判断されるのである。

数の概念の発達をみるに、正 (positive) の整数１，２，３はヒトが物の個数や順序などを表わすのにはじめて用いた自然数 (natural number) である。原始的な人間の商取引の社会ではその必要性から早くから負 (negative) の数が発見される条件が存在したと推測される。おそらく同じく経済社会の発展の中で零が発見され、知識人はそれらを統合して整数 (integral number) の概念を確立した。このように数の概念の発達からみて、純粋学問と考えられる数学も他の学問と同じく経済的な共同社会を営むようになった人間集団の現実の必要性から成立し発達したものと考えられる。さらに物を分割する性質をもった数として、自然数と整数の比 (ratio) で定義されるものを表わす（これまた社会経済史的）必要性から、整数 + 分数 + 小数を包括する有理数 (rational number) の概念が生まれた。ここで除外された比では表わせない数を無理数 (irrational number) とし、有理数と無理数を統合した数として実数 (real number) を創造し、数直線上に現われる点の連続性という概念を成立させた。このようにわれわれ人間は、自然数→整数→有理数 / 無理数→実数へと一つ前の段階の成果を吸収して数の概念を広げてきた。他に、複素数、極限、無限など、このように、数の概念には量のほかに質の発展の歴史が刻み込まれている。この数の世界に見られる美的統一性ともいえる発展は、あたかも類人猿の身振り言語のコミュニケーションから符号を信号交換の手段として発達させたヒトの言語使用に見られる、または乳幼児の言語習得過程に見られる、具体的言語表現の段階から次第に抽象化した概念を認識し表現できるよう脳内に新たに言語野が形成される発達過程に類似している。音の世界にみられる聴覚認識過程の段階的発展にも、単なる音としての認識から、ある種の法則性をもった意味のある言葉や音楽を整合性のあるものとして一つ前の段階の成果を基礎に新しい連続した統一概念が創造されると考えられる。注目すべきことは、以上にみられる計算，言語、音楽の世界に共通した現象がおそらく後連合野内のかなり限局された領域での機能発現として捉えられるように思われることである。

虚数の世界、エトセトラ

ここで現実的な大きさがなく実数の世界の感覚では互いにその比較をすることができない虚数の世界に思いを致してみよう。虚数は、二次方程式の根を解くときにルートで表わされるその判別式が負（マイナス）となる数として創造された、想像された数（imaginary number）である。数概念の統一性を保つために、$i=\sqrt{-1}$ という「虚数単位」、すなわち、二乗して実数（である負の数）となる数、すなわち虚数を新たに創造して、「根がない、存在しない」と非統一的な体系に陥ることを数学者は避けたのである。因みに複素数という数の概念があるが、これは実数と虚数を合わせた数の総称で、複素数：$Z=a+bi$（a は実部、b は虚部）と表現される。このように自然数からスタートして実数の世界から虚数の世界へと数の概念が拡張されていった。自然数は幼児が言葉を記憶し周囲を認知するなかで原始的な、または基本的な、抽象的概念を形成する過程で最初に遭遇し獲得する数（の概念）であるが、それ以上の拡張された数の概念、とくに虚数の概念は人間の脳の知的活動が生み出し得た高次の数概念である。おそらく後連合野に属する頭頂連合野およびその隣接領域内で数と言葉に関しての認知機構として処理され、ヒトの段階になって高度に発達を遂げた、この領域を経由して前頭前野に向かう「背側経路系」が強く関与しているものと思われる。

ところで自然界には、海岸線や山、木の枝葉、雲などの形や乱流の構造のように自己相似的な入れ子構造が広く存在する。これらはフラクタル (fractal) と呼ばれるが、これは 1975 年にマンデルブロ (Benoit B. Mandelbrot) によって考え出され、初めて認識された概念で、ラテン語の fractus（不規則に壊れてバラバラとなった状態、断片）に由来し、幾何学的な意味でのフラグメントから構成されいる。フラクタル構造は点集合の自己相似性を記述する非整数の次元によって特徴づけられる。カオスやフラクタルは、非線形力学、つまり、ある刺激に対して比例的には反応しない系の物理学と密接に関連している。ある系に含まれる因子の数がほんのわずかで、決定論的な非線形系では、特定の状況下で、カオスとよばれる突拍子もない振る舞いが起こる。このような決定論的なカオスは、本来の意味での完全な無秩序（ランダム）あるいは不規則性とは、まったく異なるものである。この非線形的カオスとは、一種の束縛的非秩序性とも言えるものであり、とくにフラクタル幾何学と関係す

ると考えられる。フラクタル幾何学はコンピュータの高性能化・高速化により、はじめて可視化・理論化が十分に可能になった、いたるところ連続でかつ微分不可能なimaginary な曲線を扱う学問である。マンデルブロ集合は複素力学系とよばれ、虚数を含む反復写像の数式で表わされる。将来、認知科学や精神科学が、どのようにして現代数学を取り入れて使えるようになるであろうか。

歴史を振り返ってみると、20 世紀に入る頃には、数学はベクトル、行列、幾何学的変換、写像など多岐にわたる分野で大きく発展を遂げるが、とくにこの数１０年間、新しい数学が構築されて、上述のフラクタルやカオスのような複雑性のからむ非線形の未来不確定的な現象を現実的に扱えるようになった。古代のエジプト / ギリシア以来、数学が天文学さらに中世以降、デカルト、さらにニュートン / ラプラスの力学・天文学を基盤としたものと結びついて、自然科学とくに物理学の発展に寄与し、歩を進めてきた。近くは、量子力学、理論物理学の発展に貢献すべくして、ヒルベルト、オイラー、フォンノイマンらが新しい数学を創ってきたように、これからも微分幾何、位相幾何、凸解析、確率、統計、集合などの分野で、現代数学が生物学や情報工学と一層よく結びついて、脳の機能を総合的に捉え得る学問として、N 次元から無限事象までを扱えるような、豊かな開拓がなされることを期待するものである。

8 節　前頭前野と高次運動野－能動性

前頭前野のニューロンはその意味内容に反応する

視覚系でこの標記の課題について研究している坂上と筒井によれば、この前頭前野のニューロンの約半数は視覚刺激に対して短い潜時（100 ミリ秒前後）で発火活動を変化させるという [Sakagami and Tsutsui 、1999a,1999b]。しかし、その応答は、色や形といった視覚刺激の物理的な特徴に関してなされるものではなく、視覚刺激がどのような行動を指示しているかを反映するものであり、これからなんらかの行為・行動によって表現活動へと移行しようとする際に、その活動（運動）によって表わされるべき形象を浮上させるものである（筋運動そのものには応答しない）。

このような情報を「行動的意味ないし予兆（behavioral connotation）」と呼ぶ。感覚情報でも運動命令でもない、その間を媒介する「意味の表象」である。前頭前野腹外側部においては、この「意味の表象」は、少なくとも視覚情報との関係では、「腹側経路」の出力に大きく依存している [Wilson et al., 1993；Sakagami and Tsutsui, 1999a,1999b] 。色や形といった視覚情報は、なんらかの表現活動の要請がなされない限り、筋運動と結びつく必然性はない。逆に言えば、特定の情報を行動に結びつけるためには、まず第一段階として、これらの情報を運動情報へと転化させるための学習が必要となる。事実、前頭前野の「行動的予兆」をコードするニューロンは、学習によってその活動を、より適切な刺激―反応関係を反映させる方向に変化させる [Watanabe, 1986a,1986b; Niki et al., 1990；Asaad et al., 1998] 。こうして前頭前野腹外側部からの出力は、もはや感覚情報ではなく、運動プログラミングに利用可能な翻訳された行動情報として、運動前野や補足運動野に送られることになるのである。連続して入力される感覚情報（この場合、視覚情報）が順次運動系に変換されるときに、サルで、背側運動前野のニューロンが一過性に活動するという実験結果がごく最近、宮下グループによって証明され (Ohbayashi et al., 2003)、ワーキングメモリーとの関連で注目されている。

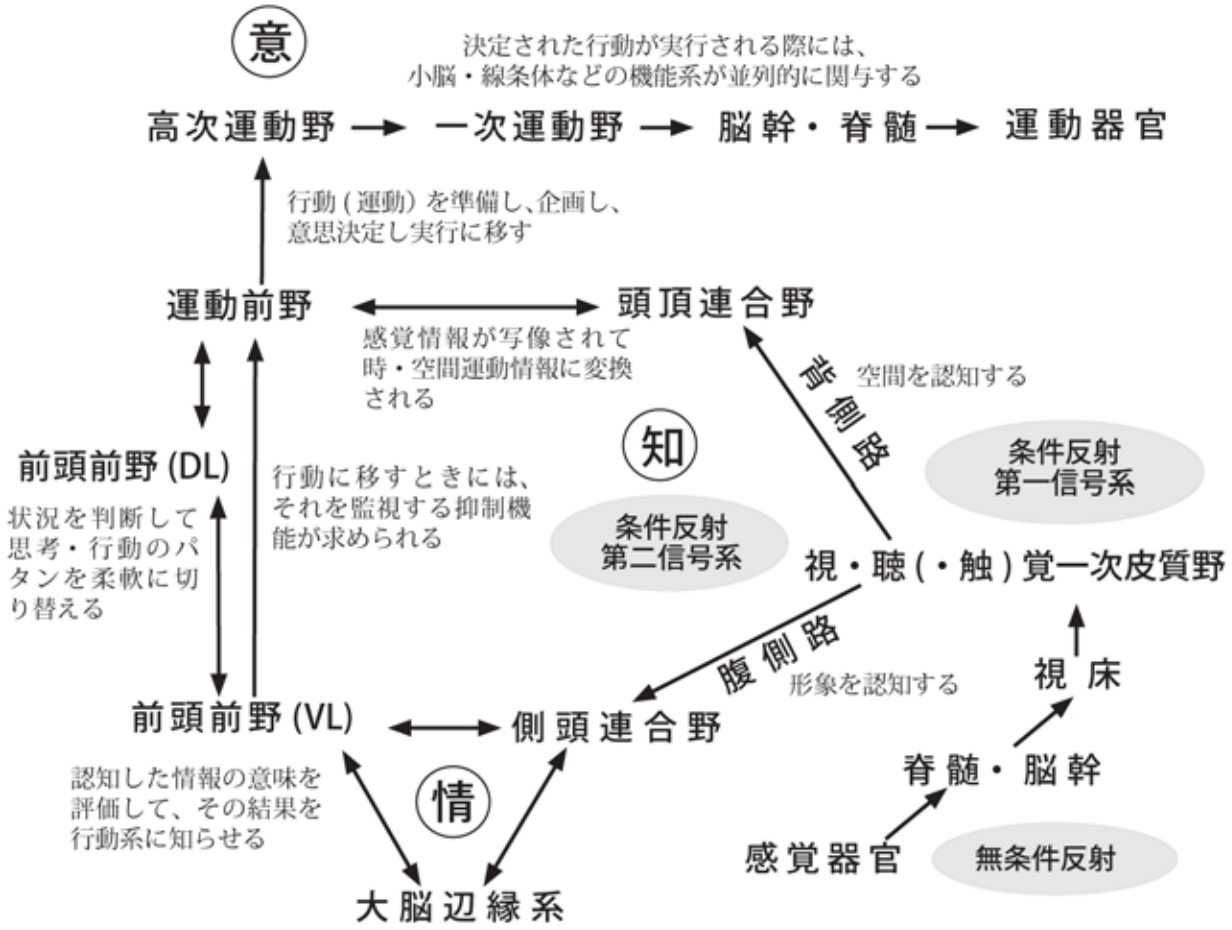
感覚・運動の情報処理のまとめ

以上述べてきた２つの視覚情報処理の経路と前頭葉の関係をまとめると図１８のようになる。長期にわたる学習の結果、すばやく感覚―運動の情報変換が行なわれるようになった頭頂葉－運動前野系によって準備された運動の候補を、下部側頭葉－前頭前野腹外側部系が、その場その場の状況に即した形で取捨選択していくことにより、より適応的な行動選択を可能にする、という図式である。この図式は類似の情報伝達系を持つとみなされる、聴覚のモダリティーにも当てはまると考えられる。なおこの図１８は、以下に続く章節で順次とりあげられる、感覚・認知・情動・運動（行動）など中枢神経系の機能全般を含んで、前頭葉の能動的活動や行動決定、それに条件反射理論との関連を意識して、概括的にまとめてある。

＄（図１８）

Go / No-go 弁別テストの行動的意味

次に、このような、人間ないし動物に対して与えられる外部からの刺激、すなわち感覚情報とその処理、およびそこから次の運動・行動、すなわち能動的な行為へと移る過程に関する坂上ら [1994a, 1994b, 1999a, 1999b] の興味深い研究を詳しく紹介する。彼らは、ニホンザルに、異なる色や形の組み合わせからなる複合視覚刺激を



（図１８）図４－８：ヒト脳内の知覚・運動情報の伝達経路と皮質内領域の機能の簡単な説明。感覚器官から運動器官まで。　DL：背外側部、VL：腹外側部。

使った、go/no-go 反応タイプ [或る状況（条件）下では行動を go（行なえ）、また他の状況（条件）下では no-go（行なうな）というタイプの実験パラダイム] の選択的注意課題を学習させ、その課題遂行中に前頭前野に電極を挿入し、ニューロンの活動電位を記録した。

この go/no-go 弁別課題（discrimination task）テストは、以下のようにして施行される。

１）サルがレバーを押すと、モニター中央に点が呈示（ディスプレイ）される。サルはそれを凝視し続ける。

２）この点のすぐ近く（左右上下のうち一ヶ所）に反応の手がかりとなる刺激 (cue) が数百ミリ秒（たとえば 200msec）間、静止あるいは動きの形象（形、色）で呈示される。

３）凝視点のみがディスプレイされる数秒（たとえば５秒）間の遅延期間（delay）の後に凝視点が暗くなる（dim）。

４）サルはそれを合図として、手がかり刺激（cue）に基づいて、go 反応（レバーをすぐに離す）あるいは no-go 反応（レバーを、凝視点が再び明るくなるまで押し続ける）を行なう。

この課題では、サルは、色に注目するときには形を無視して、たとえば、緑色が提示されたときには、go 反応を、赤色が提示されたときには no-go 反応を、形に注目する場合には色を無視して、○で go、＋で no-go 反応を行なうように設定されている。組み合わせによっては、たとえば赤い○は、色に注目するときには no-go 反応を意味する刺激になるが、形に注目するときには go 反応を意味する刺激となる。前頭前野腹外側部の「行動的意味」をコードするニューロン、たとえば、go 反応を意味する刺激に強く応答するニューロンは、この刺激に対して、サルが形に注目しているときには発火活動を上昇させるが、注意を色の次元に切り替えると、即座に発火の上昇は見られなくなる。発火活動の変化は、明らかに視覚刺激の呈示に同期しているのに、注意の文脈の変化で同じ刺激に対する応答が逆転してしまう。

このことは、前頭前野腹外側部のニューロンが、単に個々の刺激－反応関係の行動学的意味（behavioral significance）をコードしているだけでなく、複数の刺激－反応関係を包含・制御するルールを実現わするようなネットワークを形成していることを示唆している。つまり、サルが認知課題を遂行しているときに前頭前野の

ニューロン活動を記録し解析することによって、それらが複雑な環境の中から意味のある刺激を検知して行動を決定するという、感覚処理と運動制御のいわば「中間」に位置している、認知、思考、意思決定という能動性を発揮する神経メカニズムに大きく関与している可能性を示したのである。

さらに坂上 ら [2001] は最近、PFC 腹外側部ニューロンで、サルが色次元に注目しているときには（色条件下では）go/no-go の弁別応答をするが、サルが動き次元に注目しているときには（動き条件下では）色にも動きにも弁別的な応答をしなくなることを示した。注目すべきはこのニューロンのほとんどが、no-go 刺激に関連した応答をするという、反応抑制に関わる応答であったことである。つまり、色条件下でのみ go/no-go 判断に応答するニューロンの集団であった。

何をしてはいけないか

さらに注目すべき重要な点は、視覚情報処理系の２つの経路、すなわち空間情報処理系である背側経路と物体の形状（形や色）情報処理系である腹側経路、の意思決定における相互の関係について考察し、その上に立って後者の系を受ける腹外側部 (VLPFC) が前者の系を受ける運動前野および背外側部（DLPFC）の活動（すなわち機能）を総体的に抑制するという形をとることによって、柔軟性に富む適応的な行動選択を可能にしていると考えた点、および意思決定機構の中心的役割を演じているであろうと考えられる腹外側部のほとんどの go/no-go ニューロンは「何を行なうべきか」ではなくて「何をしてはいけないか」という行動抑制の情報を出力していると指摘した点である [Sakagami et al., 2001；坂上と小泉、2001]。

この新皮質内に存在する抑制性の GABA ニューロンのシナプス形態や介在ニューロンとしての機能的役割についての研究 [Kawaguchi and Kubota, 1997; 川口、1998; Gupta et al., 2000; Tamamaki et al., 2003] は進展しており、皮質内抑制機構が解明される日は遠くないであろう。

ストループ効果

以上に関連して記述するが、『赤いインクで書かれた「青」という文字のインクの色を答える場合の方が、青いインクで書かれた「青」という文字のインクの色を答える場合よりも時間がかかる』というストループ効果 [Stroop, 1935] と呼ばれる現象が知られている。ローレンス、坂上らは、日本ザルに色、形、運動方向などの視覚刺激を組み合わせた課題を学習させ、その課題遂行中の前頭前野のニューロン活動を調べた。その結果、サルにおいても、言葉と色を視覚刺激として用いたときのヒトの場合と同様の現象（ストループ効果）を観察した [Lauwereyns et al., 2000, 2001]。

サルの前頭前野には､種々のタイプの神経細胞（ニューロン）が見出されており、報酬情報処理の学習課題を行なった渡辺ら [Niki and Watanabe, 1979; Watanabe, 1989; 渡辺、2005] によれば、①　報酬を貰ったときにはどんなときでも、応答するもの（非選択応答性ニューロン)、②　正解して、報酬を貰ったときに応答するもの（強化ニューロン)、③　誤答で報酬が貰えなかったときに応答するもの（エラーニューロン)、および　④　正否や報酬の有無に関係なく、テスト終了時に応答するもの（試行終了ニューロン）などが認められる。これらのニューロンが見い出されているということは、行動選択と実行の際に報酬を期待し、予測するという過程が脳内活動として存在することをニューロンレベルで証している。

動物はこれから起こるであろうでき事を予測し、それを期待するとき、周囲・環境の状況を認知し、その手がかり（cue）を掴んで、得られるべき報酬の大小、多少、好き嫌いなどを評価しながら、行動決定を行なう。目的指向の行動を動物が行なおうとしている時、前頭前野のニューロンはどのように活動するのか。この課題にせまる渡辺のすばらしい研究がある [Watanabe, 1996]。彼は手がかり刺激（cue）の呈示として、サルにその呈示位置を左や右に変えて覚えさせたり、遅延期間後に与える報酬の種類（ブドウ、リンゴ、キャベツ、水、ジュース、ポカリスエット、オレンジ、ポテト）を、つまりサルの好みの強弱を考えて、色々に変えて、「報酬・無報酬－遅延つき反応時間課題」と「遅延反応課題」の両方の課題を使って、前頭前野ニューロンの活動 (activity) を調べた。そして分かったことは、遅延期間中に強く活動する「予測ニューロン」とでも呼び得る、特別な種類の報酬にのみ反応するものがあり､その種類によって､ニューロンの反応の強弱が変わった。その際、cue の呈示位置によっても、cue の呈示と報酬を受けるまでの間の遅延期間で活動様式が変わるニューロンが見い出された。このニューロンは報酬の期待と行動結果をモニターしているように思われる。

この報酬や賞罰に関する将来の予測と強化学習における、黒質、線条体、前帯状回、前頭前野を含むドーパミン系の役割についての神経基盤の問題、およびこれに関

連する情動、意欲、意思決定、ワーキングメモリー、認識や行動の評価等についての考察は、精神医学的にも重要であり、現在注目されつつある大きな問題である。故に、別に項を改めて論じることにしたい。ここでは４つの優れた最近の論文 [Schultz et al., 1997; Middleton and Strick, 2002; Cohen et al., 2005; Samejima et al., 2005] を紹介するに留めたい。

最近はヒトにおいても、fMRI を用いて go/no-go 弁別応答の研究がなされ、前頭前野－頂頭・後頭・側頭連合皮質から構成されるネットワークが重要な役割を演じているという結果が明らかにされている [Watanabe et al., 2002]。 興味深いことに、アレーンは Stroop color-naming task を統合失調症患者で検査して、事象関連電位で反応後～ 40msec でピークとなるエラー関連陰性波（error-related negativity , ERN）を患者の頭頂中央部で記録した [Alain、2002]。また、統合失調症患者において、複雑な判断をさせられる状況に置かれたとき、前帯状回（あるいは前帯状皮質運動野）の活動が低下しているという報告もある [Kerns et al., 2005]。現在、J.Z. コーエンのグループを含む多くの研究者たちは、ヒトの前帯状回がエラーやコンフリクト状況下の情報を検出して、前頭前野に知らせているという仮説を提唱している。これら相異なる、または矛盾する、複数の情報を適正に処理して能動的行為に移すことを迫られるような、複雑で決断困難な（conflict）条件下での選択的行動を決定する際にみられる機能障害を示す所見として、それらニューロンの活動が低下しているとして注目されている [Luria, 1973; Cohen et al., 2000; Miller and Cohen, 2001; Swick and Turken, 2002; Botvinick et al., 2004; Holroyd et al., 2004; Yeung et al., 2004] 。

情報処理のまとめ

ここで、これまでの考察の上に立って二、三の要素をまとめ、それをベースに多少大胆な解釈を以下に試みてみよう。

１）背側経路→頭頂葉→運動前野・・・（全体を広義の背側経路とする）

静的および動的物体の（視覚）空間情報処理

視覚（および聴覚）情報と運動情報との関連は依存的でより直接的

知覚情報全体がシステマティックに組織化されており、視覚空間から運動空間への写像変換が直接的である。

２）腹側経路→側頭葉→前頭前野腹外側部・・・（全体を広義の腹側経路とする）

色や形など物体の形象の（視覚）情報処理

視覚（および聴覚）情報と運動情報との関連は 1) に比べてより独立的で間接的知覚情報が運動前野に送られる前に、運動情報に翻訳可能な形に変換される手続きが必要である。つまり、形象の知覚情報から運動空間情報への（写像）変換が容易ではない。少なくとも直接的ではない。

行動決定に至るまでの脳内活動

発生学的にみて、背側系はより古く、腹側系は新しいと著者は考えている。まず、例を両生類（カエル）にとって眺めてみると、その上丘は視覚性運動反射の中枢と言われる部位で、空間に動く物体を知覚して反射的に運動系という能動的動作に結びつけている。このときは網膜を通じて入力される外界からの新しい感覚情報を、手続き記憶として既に形成されている小脳を含む脳幹からの信号と結びつけ、自動的に運動誤差を修正して比較的容易に視覚空間情報を運動空間情報に（写像）変換していると思われる。大脳皮質が未発達のカエルでは、中間段階の次の次元の知覚・認知機能は外側膝状体が受け持つようになる。すなわち、網膜・上丘・外側膝状体から構成される回路網で、哺乳類の場合の膝状体外系（extrageniculate system）に相当する。ここで上丘が受け持つ行動決定を、なんらかの機能を働かせて修飾している。あえて言えば、上丘入力系が背側系で、外側膝状体入力系が腹側系であろうか。すなわち、ヒトにおいては、前頭葉を包括した広義の背側系である背側経路→頭頂葉→運動前野のシステムによって準備された可能性のある何通りかの運動の候補が、同時並行的に運動前野に送られてくる腹側系からの情報に基づいて、その場の状況に即した形で取捨選択されることによって、適応的な行動が決定されている。

この行動決定に際して、言語信号系を獲得しているヒトにおいては、表象・概念化の判断機能が加わることにより、複雑で精緻な能動的行為を選択することができる。なお前に述べたように（６節）、この運動の概念は単に意識的な運動野の活動のみに依存的な狭義な性質を持つだけにとどまるものではなく、無意識的、不随意的、自動的なものをも包括する広義のものとして考察される。

９節　高等霊長類の精神活動―知と情と意

「響き」に内在する運動

以上のように、前頭葉において発揮される運動（性）

機能とはどのようなものであるかについて考えた場合に、それを単に随意的な狭義の運動という概念を超えて、判断、意欲、意志、さらには情動をも含めた能動性の機能を包括したものとみなすことができる。この視点に立って、次に演奏における運動とアフェクトゥスの問題をみることにする。その場合に、問題となるのは以下の点に、すなわち、演奏者によって、楽譜の中に読み取られ、同時に聴き取られた「響き」に内在する運動とは何かに集約される。つまり「響き」は以下のように聴き＝読み取られなければならない。

１）聴き手のアフェクトに働きかけるために必要な、要するに人間のアフェクトゥスを動かすための響きとして、

２）音の自律的法則として―或る音と別な或る音との響きの関係、多くの音の関係が形成するバランス―、

３）上の法則の中核をなす数的秩序を意識的に無意識的に、

４）秩序へと聴き手を導くために必要な響き、

演奏家の脳において、鋭い感受能力を働かせて実際の響きが上の１）－４）の条件を満たすものであるかどうかをロゴス的に判断しつつ、演奏＝表現＝音楽の全体的支配・統御が行なわれる。

能動的（アクティブな表現を司る）ロゴスの座であるブローカ言語野を含む前頭前野と、受動的（パッシブな聴受および聴受されたものへの判断を司る）ロゴスの座であるウェルニッケ野は連合線維によって結びつけられており [Catani et al., 2002]、各ロゴス野の近傍の前頭前野眼窩面皮質（前頭眼窩野、orbitofrontal cortex）と側頭葉下部および極部は各々投射線維系により辺縁系（扁桃体、海馬傍回）と結びついている [Kawamura and Norita, 1980; Cavada et al., 2000]。前頭前野の外側面皮質 (外側前頭連合野) が注意・判断・計画さらに抑制機能を備えた（前述、８節、参照）能動的行動などの認知・実行の高次機能を担っている中枢であるのに対して、前頭眼窩野は情動に基づく「報酬情報」を受けて、行動目的の動機づけを行なうに際してその行動を達成するための重要な役割を演じている [Fuster, 1997; Watanabe, 1996, 1998, 2002]。サルを用いて以前発表した自家所見（ＨＲＰ）を見直してみると、上の Watanabe らの機能的実験の結果を裏付けるように、前頭前野内の主溝（principal sulcus）の背側部（上膨隆部、９野）および腹側部（下膨隆部、12 野）は、ともに前頭眼窩野からの入力線維を受けている [Kawamura and Naito, 1984; Figs.3 & 6 参照]。PET や fMRI で調べてみると、ヒトにおいても同様に、罰や褒賞を受けたときの報酬処理情報に関して前頭眼窩野が活性化することが報告されている [O'Doherty et al., 2001]。

ロゴスとパトス ― その形態的基盤

このように、受動的および能動的なロゴス（知）の座である大脳皮質連合野とパトス（情）の座である大脳辺縁系が相互に密な関連性を形態的に（連合線維の結合という点からみても）有していることは注目すべきことであり、さらに興味ある重要な点は、後連合野で高度に処理された興奮（＝脳の活動）が、狭義の運動野である 4 野、(6) 野に直接伝達されないことである。皮質・皮質間結合の研究の結果として明らかにされているのは、運動性言語中枢近傍の前頭葉皮質においてシナプスを形成し、ニューロンを替えていることである。すなわち、この前頭前野における「仲介 / 中間領域」で一旦「組み換え」(パトスとロゴスとの質的向上を含んだ相互浸透) を起こしたのちに、運動系皮質域（補足運動野→前運動野→一次運動野）に伝達されるのである。感覚性の認識が情動と結びつき、その融合体が直接的に運動系を働かせるという方式をとらずに、生物体の最高機能を持つと言われる前頭前野を介して、間接的に運動系に投射されるという方式が採られているのである。

具体的には、情動のアフェクトゥスは扁桃体（核）や側坐核からの入力により、意欲の衝動は前頭前野と強い相互結合をもった帯状回前方域（anterior cingulate area ）からの入力（出力もある）により維持されているのである [Botvinick et al., 1999; Cohen et al., 2000; Gehring and Knight, 2000]。この際、後述する（２３節－２６節）視床下部からの自律神経系やホルモン調節系の入力やドーパミン系からの入力も加わる。これらの経路を経た入力刺激により、運動野（関連する領域を含む）が活動することによってはじめて演奏におけるアフェクトの関係が了解される。この際、重要な役割を演じているのは、先にみた小脳の学習機構と共に、線条体の運動調節統御であり、これによって全体のバランスがとられればこそなんらかの表現＝メッセージという形象が形成されることになる。つまりはここにこそゲシュタルト的、能動的な役割は存在すると考えられるのである。

この際注目したいことは、ネコあたりのレベルでは、皮質線条体 (大脳皮質から尾状核と被殻への) 路の起始細胞の存在域は主として前頭葉の運動関連領域（主として 4 野と 6 野）とされているが、サルの段階になると前頭葉の主溝周囲および腹側部や頭頂葉、第一聴覚野 (A1) を除く側頭葉、第一視覚野 (V1) を除く後頭葉、さらに

内側面では帯状回前部を含んで広範囲の皮質領域にわたっていることで、このことは 1970 － 80 年代の研究ですでに明らかにされている [Kemp and Powell, 1970]。前にも述べたように、この皮質線条体投射は単なる純粋な運動に関係しているのではなく、動物が、能動性の総合的、協調的な運動機能を発揮する上での重要なシステムであると考えられてきた。そしてヒトになると、ほとんど全皮質域からなされる線条体への投射が発達してくると考えられる。この投射路のヒトにおける（脳画像）所見、さらに比較解剖学的研究とそれに基づく進化論的視点からの考察が望まれる。

並列的情報処理に関わるシステム回路

大脳基底核、とくに、線条体の細胞構築と線維連絡の概略については先に述べたが、ここで少し視点を変えて、大脳基底核・視床・大脳皮質を構成する神経回路のシステムとしてこれをみた時、どのような意味が付加されてくるかについて考えてみよう。アレクサンダーらは、以下に述べるように複雑な神経回路網を整理して、このシステム回路は、形態、機能ごとに並列的チャンネルを作っており (parallel channeling)、個別的、並列的な情報処理 (parallel processing) をする場であるという考えを呈示した [Alexander et al., 1986]。

この大脳基底核－視床－大脳皮質系の線維連絡は閉鎖回路を形成しているが、全体は便宜上、運動系、連合系および辺縁系の３つの系に分けられる。また、線条体という構造物を主役に考えれば、線条体は機能・構成上、①感覚運動線条体、②連合線条体、③辺縁線条体に分類される。なお③の辺縁線条体は尾状核頭の腹側部で主に側坐核と嗅結節の深層部に相当し、組織化学的に運動系と連絡しているが、これもなお辺縁系のインターフェイスとしても働く中心部 core と、視床下部、扁桃体など辺縁系と連絡する周辺部 shell に分けられる。以下の注にこれらの系について概観しておこう。

この系の持つ情報処理概念をさらに発展させ得る所見として、ごく最近、ミドルトンとストリックはヘルペスウイルスを利用したシナプス越え逆行性軸索輸送法を用いて、サルの前頭前野－基底核－視床－皮質を経由する神経回路を調べ、その中で前頭前野への５つの投射系を明らかにした [Middleton and Strick , 2002]。すなわち、大脳基底核、視床核を経由して、前頭連合皮質内の９野の内側 (area 9 m) と外側 (area 9 l)、46 野の背側 (area 46 d) と腹側 (area 46 v) および 12 野の外側 (area 12 l) への投射が存在すると提唱した。

さらにマックファーランドとハーバーは、同じくサルの脳に種々の軸索流マーカーを注入して、このシステムの大脳基底核を中継とする視床と皮質との間の結合様式について、たとえば、VL 核は一次運動野、補足運動野、運動前野後部に対して、VA 核は帯状回前部、前補足運動野を含む運動前野前部に対して、MD 核は前頭前野の背外側部および眼窩面皮質に対して各々投射を行なっていることを、皮質の層構成をも考察しつつ明らかにした [McFarland and Haber, 2002]。

アレクサンダーら (1986) によって 20 年前に整理して提唱された上記の神経回路網の構成がこうして新たな

注：

Ⅰ．運動系ループ

１）運動感覚系ループ（この系は運動の高次機能に関与する）

知覚運動野→被殻（運動系線条体）→淡蒼球外節／内節 (GPe/GPi)（外側部、運動系－淡蒼球））→ VLo →運動野

２）固有補足運動野 (SMA-proper) 系ループ

SMA-proper →被殻→ GPe/GPi の中間部（補足運動野関連淡蒼球）→ VLo 内側部→ SMA-proper

３）前補足運動野 (pre-SMA) 系ループ

pre-SMA →尾状核 (CN) の外側部→ GPe/Gpi の中間部→ VApc の外側部→ pre-SMA（pre-SMA はヒエラルキーが最も上位にあり、このループは運動のプログラム、準備に深く関与する）

４）運動前野 (PM) 系ループ

PM → CN の外側部→ GPe/GPi の背内側部→ VApc の内側部→ PM

５）眼球運動系ループ

前頭眼野 (FEF) ／補足前野眼野 (SFEF) → CN の中央部→黒質網様部 (SNr) の外側部→ VAmc,MDpl → FEF/SFEF

Ⅱ．連合系ループ（この系は認知などの高次の脳機能に関与する）

前頭連合野／頭頂連合野→ CN の外側と腹内側を除く大部分および被殻の前部（連合線条体）→ SNr および GPe/GPi の背内側部（連合系淡蒼球）→ MDpc の中央部と一部 VAmc →連合野

Ⅲ．辺縁系ループ（この系は動機づけ、情動行動に関与する）

辺縁皮質・扁桃体・海馬→辺縁（または腹側）線条体→腹側淡蒼球→ MDmc 内側部→辺縁皮質

観点から詳しく解析された結果、近い将来に脳機能の能動的活動、あるいは精神機能に関する研究の中心をなすに違いない重要課題の一つがここに成立したと思われる。実際、カミングスらは、前頭皮質－大脳基底核－視床の神経回路を、ヒト前頭葉内の　①補足運動野、②前頭眼野、③背外側前頭前野、④前頭眼窩面外側部、⑤後帯状回前部を起始とする 5 系列に分けて、運動機能、認知、情動、動機づけなどの行動認知や精神機能について考察し、その障害として、実行系障害、性格障害、無感動に関わるものがあると推論し、それらを精神異常に結びつけるという大胆な試みを発表している [Cummings, 1993, 1995, Tekin and Cummings, 2002]。 精神医学への挑戦の端緒ともなろう。

パラレル・ニューラル・ネットワーク（彦坂）

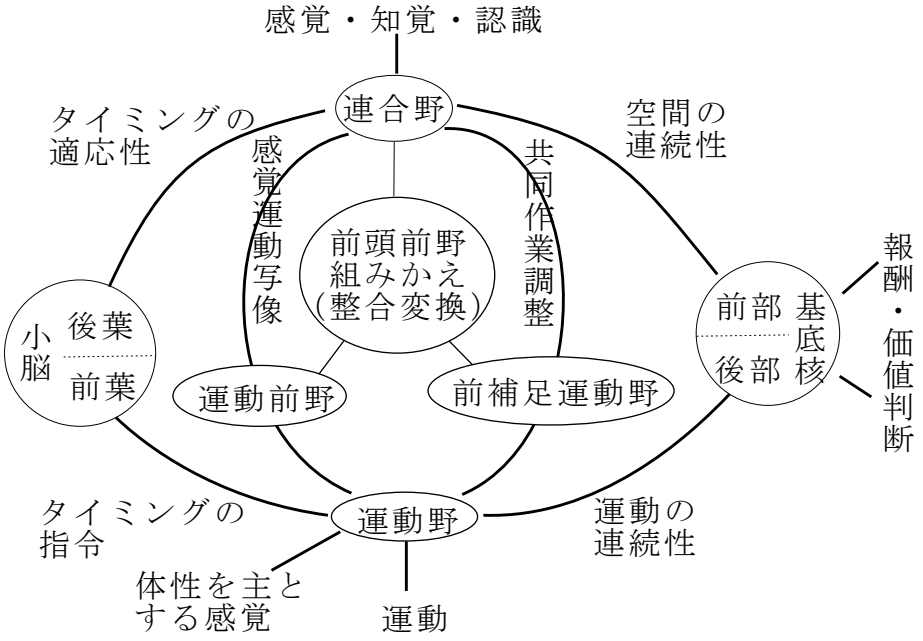
なお、近年、彦坂グループ [Miyachi et al., 1997; Nakamura et al., 1998, 1999] は、この大脳皮質－大脳基底核連関に注目して、その手続き的 (procedural) 運動記憶とその実行系の神経機構を明らかにすべく、このサルの生理学的実験（細胞外記録）を行なってニューロン活動を調べ、①（視覚空間座標でコードされる）学習の初期、つまり新しい課題を獲得しようとする段階では、前頭前野 / 前補足運動野 (pre-SMA)/ 頂頭葉内側部などの連合皮質－基底核前部ループ（視覚ループ）が関与し、次に ②（運動座標でコードされる）学習がさらに進んで蓄えられた記憶を保持し、読み出し、スキルになった手続きを実行する段階になると、補足運動野 (SMA) などの運動関連皮質 - 大脳基底核中央部ループ（運動ループ）が関与するようになるという結果を示した [Hikosaka et al., 1999; 中村 , 2001] 。抑制性の GABAA 受容体アゴニストのムシモールの注入実験結果もこれを支持している（Miyachi et al., 1997）。

これは空間座標と運動座標が並行してセットされているという意味で、「パラレル・ニューラル・ネットワーク (parallel neural network)」と名付けられた理論で、運動記憶が、なんらかの事柄への習熟の度を高め、自在に適応可能になる過程で少なくとも２つの、つまり複数の独立した前方および後方の「大脳皮質－大脳基底核回路」が働き、漸次一方の系列に移行する機構が存在することを予測させる（図１９、図２０）。この「習熟」のテーマは後に小脳の認知機構に関して再び考察される（３６節 , ３８節参照）。

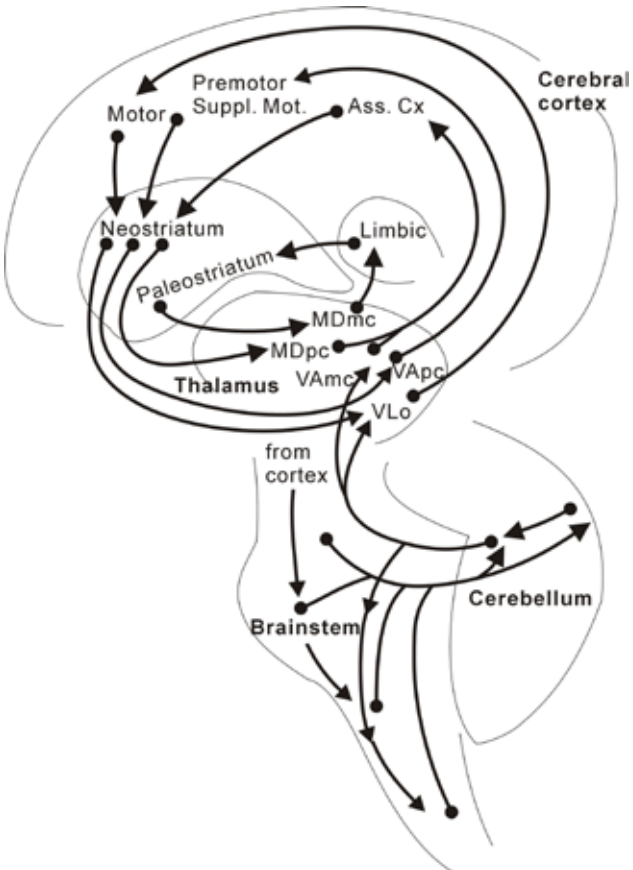
大脳基底核のはたらき―古くて新しい視点

以上の考察からも明らかなように、大脳基底核は、大脳新皮質、大脳辺縁系、中脳ドーパミン系との密接な結びつきから考えて、認知、運動（能動的活動）、意欲、情動などの「精神機能」を統合する上で重要な位置を占めるにもかかわらず、なお未開拓の研究分野である。大脳基底核の背側部は黒質線条体（A9）系の主な標的部位として感覚運動機能に関係し、他方、腹側部は中脳辺縁ドーパミン（A10）系の主な標的部位として海馬や扁桃体、さらに視床下部と共に辺縁系の中核を成していると以前からみなされてきた。

なお、線条体入力軸索終末には少なくとも大脳皮質由来のグルタミン酸作動性（その受容体は NMDA タイプ



（図１９）図４－９－１：　認知、（情動、）運動を中心に哺乳動物の脳の高次機能の全体像を示すニューラル・ネットワーク。Hikosaka et al.（1999）より改変。



（図２０）図４－９－２：（メモ：追加）大脳皮質、視床、大脳基底核の間の並列神経回路（パラレル・サーキット）と脳幹・小脳との関連を示す模式図。

で、樹状突起棘 / スパインの頭部にある）のものと黒質由来のドーパミン作動性（その受容体は D1, D2 グループで､樹状突起棘 / スパインの頚部にある)のものがある。これらの入力を受けて GABA 作動性の抑制性投射ニューロンが視床ニューロンおよび大脳基底核あるいは前脳内側基底部の細胞群（マイネルト基底核 nucleus basalis of Meynert、ブローカの対角帯 diagonal band of Broca、無名質 substantia innominata など）内のコリン作動性ニューロンに神経終末を与えている。そして、これらの視床ニューロンおよび大脳基底核ニューロンは、ともに広く大脳皮質に興奮性の出力を与えており、フィードバック的に大脳皮質の働きを制御している。

さらに一言すると、抗精神病薬（クロルプロマジンやハロペリドール）の作用点（伝達物質の受容体）や疾患モデル動物を用いた薬物作用機序の研究の結果も考慮されて、統合失調症における情動処理障害仮説―視床フィルター機能不全仮説（thalamic filter hypothesis）―がカールソンらによって提唱されて久しい [Carlsson and Carlsson , 1988] 。この仮説には、現在の神経科学の進歩の上に立って再検討されるべき点も多いが、大脳皮質－大脳基底核－視床－大脳皮質という「再帰性」神経回路（網）のなかで情報統合処理が障害されるとして、１６年も前に統合失調症障害を見据えた点は注目に値する。

現在われわれは、大脳基底核をめぐる回路網をベースにした機能形態学や認知パタン形成についての優れた総説 [たとえば、Parent and Hazrati, 1995a,b ; Graybiel, 1997; Mink, 1999; Hikosaka et al., 1999, 2000] に接することができる。これに関連する注目すべき最近の知見としては、大脳（新）皮質から直接投射をうける尾状核と被殻（同質の構造体で両者はまとめて新線条体と呼ばれる）から入力をうける淡蒼球（外節と内節とに区分される）からは、視床の運動核（VA/VL）へ投射がある他に髄板内核群や視床網様核（両者とも新線条体にフィードバック様に投射して閉回路を作っている）にも投射がなされている点であろう。とくにこの視床網様核は上行性網様体賦活系（ascending reticular activating system, Moruzzi and Magoun, 1949）の間脳における中継核に相当し、視床から大脳皮質に広汎な覚醒刺激が送られる際に抑制過程として関与すると言われている [Masson et al., 2002] 。

大脳基底核の機能をより簡明に解釈すれば、以下のようになろう。すなわち、運動系においても、知覚系においても、さらには認識・情動系においても、体外および体内からの刺激による過剰で不適切な入力を阻止し、コントロールして適正な覚醒状態を保ち、新皮質とくに能動性機能の場である前頭葉を活性化させることによって、霊長類とくにヒトが日々の行動、生活において注意を集中することに大きく関与するものと思われる。この情報入力に対する抑制機能ないしフィルター機能が傷害されると、雑多な情報を適切に選択することができなくなり、過剰な感覚刺激を処理できず、その結果として能動機能が低下し、思路は乱れて、奇妙な思考形態をとることにもなる。今後、統合失調症の病態の解析を目指す、新たな視点を据えた研究が望まれる。

１０節　ワーキングメモリー

次に、以上の諸点を前提に述べておきたいことは、イギリスの認知心理学者バドリーが、前頭葉が関わる認知機能として提唱して以来注目を集めている、ワーキングメモリーと演奏との関連についてである。なおこの関係は、いまは演奏を中心に検討されるが、より広範な意味ではワーキングメモリーと呼ばれる脳のシステム、機能とヒトの表現活動、それも運動によって示される意識や情動、

精神の外化との関連性として捉え得るものである。

演奏（精神活動の外化）とワーキングメモリー遂行中の脳内活動

ワーキングメモリーとは、情報の処理と保持の並列処理を可能とするシステムであると考えられており、長期記憶に情報を転送する前に一時的にそれが貯蔵され、保持される短期記憶の持つ情報の性質を利用して認知処理を行なうことによって、記憶の内容が書き換えられるという能動的機能を持っている [Baddeley, 1986]。

たとえば話し言葉の理解の上に成立する、会話・コミュニケーションを例に説明してみる。話し言葉は音節として発せられ、受容され、理解され、（一時）貯蔵され、消去されてゆく。この経過が繰り返される。当然のことながら、一続きのものとして話の内容を理解するためには、一連の音節群を貯めこんだものを基にして、単語や文章を再構成すべく情報群を消去し、置換し、更新する。音楽に関しても同様で、ピアノやヴィオリンから発した刻々と変化する個々の音を連続した意味のある流れとして捉え、ひとつのメロディーとして受けとめたり、調性を理解したり、モチーフの存在を認めたりすることができる。しかしこのようなワーキングメモリーの作業は決して前頭前野のみの活動だけでは成立せず、辺縁系、基底核、小脳を含む脳全体の同時的・並立的に機能するニューロン・サーキット（神経回路網）の存在が不可欠である。すなわち、ピアノを弾く場合を考えてみると、初期の学習段階では、譜面を見て手の指を動かすという、意識的コントロール下での随意運動が主導的であるが、日々の練習を繰り返すことによりこのような譜読み→指の運動が自動的に作用するようになる。そしてこのようなときには、運動制御をしながら、並列的に、つぎのメロディーを検索する作業を行なっている。そして、運動変換の際には行為の順序の選択とその決定が行なわれる。また、運動が熟練してくると、おそらく認知処理に要する時間が短縮されるために、ワーキングメモリーの活動が落ちてくると言われる。しかし考えてみると、いわゆる理論的必然性はないにしても、ワーキングメモリーの活動が身体全体の運動制御と深く連動していることからも推察されるように、実際には、この作業活動には大脳運動系に加えて、小脳系や大脳基底核系の運動学習やスキル学習に近い形態が少なくとも間接的に関与していると考えられる（１９節、３７節、３８節 参照）。演奏の場合には、無論これに上記の前頭前野を含む皮質系運動が主体とならなければ音楽的演奏にはならない。が、ともかくもこの時の脳はどのように働いているのであろうか。

空間記憶と視空間処理に各々関係する前頭前野と頭頂葉下部との関連については、サルで脳の局所糖組織消費を指標にした 14C-2- デオキシグルコース法によって、視覚性（ではあるが）ワーキングメモリー課題が遂行されるとき、同時的に両皮質領域が賦活化されることが観察されている [Friedman and Goldman-Rakic, 1994]。霊長類（サルやヒト）におけるワーキングメモリーを研究する場合、視・聴覚系における認知高次機能を支えている後連合野と前連合野間の皮質の間を相互に結んでいる背側経路（where or how path）および腹側経路 (what path) の機能について同時的に考察するべく心がけることは一層重要になってきている（４節，７節，１８節，１９節、参照)。

さて、ワーキングメモリーの課題を遂行中の脳内活動について改めて考えてみると、記憶の貯蔵庫から、目下必要な、いま目にしている譜面から情報を取り出し、一時的に（でも）保持し、この情報を外化させるために必要な情報を長期記憶から引き出し、運動反応に変換する（運動系プログラムへの変換)。同時に並列的に、次の響きを運動化させるために必要な事柄を記憶の中からほぼ自動的に検索する。

このような、運動制御を行ないつつ並列的に次の響きの運動を検索するという、音楽演奏におけるワーキングメモリーと呼ばれる活動形態の脳内における部位局在には前頭連合野が関連していると言われているが [Goldman-Rakic, 1992]、PET や MEG を用いてヒトの脳で調べてみると、前頭前野に限局されるものではなく、脳内の広範な部位に及んで運動（演奏＝精神活動の外化）に際しての活性化が認められる。楽譜という記号を視覚的に認識しながら、身体（＝手指をはじめ）の運動と音の響き（内聴と外聴）をカップルさせて、全体像をたえず探りながら瞬間瞬間に部分を補足し、エッセンスを抽出しながら音楽を創り出していく活動が演奏であろう（図２１)。

言語に関係する反応ニューロンは大脳皮質内に広く存在する

記憶が動的に関与する高等動物において忘れてならないのは言語系、なかでも条件反射第二信号系（パブロフ）の存在である。この言語系が関与する部位については従来、感覚性 (Wernicke), 運動性 (Broca), 補足運動野 (Supplementary Motor) と３皮質領域 (posterior, anterior and superior speech cortices) が挙げられていたに過ぎな

（図２１）図４－１０：ヴァイオリンを演奏しているときの大脳皮質領野の機能分担と統一した活動を一枚の絵のなかに見事に表現した。（時実 , 1969）

かったが（Penfield and Roberts, 1959）、最近の rCBF や fMRI の検査の結果は、「ことば」を発する時には大脳皮質領域内の広い範囲で多数の領域のニューロン群が反応していることをわれわれに教えている。この多領域言語反応ニューロンの分布をみると、言語（表現）に関連したヒエラルキーの高い情動との結びつきを考えても、今後、測定技術が改良されて皮質内情動反応ニューロンの分布が側頭葉前部や前頭葉腹側部を含む広い範囲に出現わするといったデータが見い出されて然るべきではなかろうかと思われるが、この多領域ないし広領域言語性こそ音楽とことばの響きの関係を考察（解釈）する上で大切な視点と考える。

とりわけ、言語がことばによる表現の記号化（＝符号化、信号化）であり、音楽（音符）が音の響きによる表現の記号化であることを考量するときにこの感は強く、加えて、言語も音符も共に記号として「視覚神経」による入力構造に依拠するものであることを考えるとき、視覚と聴覚との、あるいは色（視覚）と響き（聴覚）との密な関係から類推して、この広領域言語性は重要な視点を提供するに違いない。これまでの検討からして、たとえば言語がことばとして、すなわち響きの性状によってのみ知覚される意味であることが明らかな以上、この、響きとしての意味を可能にさせるために必然される響き＝「聴覚神経」（とくに脳内における響きの処理という点からして内聴に関与する神経系ないしこれに関与する部位）と、音色＝書かれた文字そのものの訴える色彩性（たとえば「青」インクで書かれた「赤」）および響きそのものの持つ聴き取られる（外音としての）音色の脳内処理という点からして「視聴覚神経」（とくに統合機構という点からして内視と内聴に関与する神経系ないしこれに関与する部分）に関与のネットを広げる広域性への注目が重要になる。

また、響きという空間性を取る情報の定位に要求される背側ルートや、この空間性と密な関係を持つ音色、響きの色彩性（ことばや音の響き）の色合いの違いによって大きく左右される響きの空間性を考慮した場合の、色彩性に関わる腹側ルートとの結びつき、あるいはこれに小脳および脳幹からの入力系や、運動の調節に大きく関与する扁桃体を含む大脳基底核の働き等を加えた場合、ひとつの響きはひとつの脳の全体、すなわち広領域言語 (活動) 性を前提にしてはじめて、ヒトの脳において知覚され得ると言わなければならない。

言葉や音の響きは日常生活に浸透しているものでもあるだけに、その役割や機能について場合によってはほとんど何の注意も払われないこともあるが、しかし、ひとつの響きが人間の生き方を左右するほどの影響力、作用を持つものでもあることを忘れてはならないであろう。ことばないし響きにはそうした多様、多層な、いわば奥の深さがあるのであり、この奥の深さという響きの存在構造こそ、ヒトの脳の広領域性が生み出す、他の動物に

優れてヒトをヒトたらしめるヒトの精神活動（ヒトの脳機能）がもたらした最大の成果のひとつである。いずれにせよ、ヒトのような言語活動可能の高等動物においては、広範囲にわたる言語野と前頭前野（＝前頭連合野＝前連合野）の発達により、高度なアフェクトゥスを発揮させることが可能となった。そして、高度な信号である楽譜を解読することによって形成されたパトロゴスの基盤の上に立って演奏（作曲）という能動的活動（運動）がなされる。しかもこのような運動によって発現されるゲシュタルト的響きは数的比例の秩序に支配されていることになるが、しかし実際に、響きの中にそのような秩序が正しく内在しているか否かは聴受者の（また演奏家の）聴覚系機構内で判断される。これが、具象化されたパトロゴスの吟味であり、その吟味の結果が再び前頭前野を介して統御され演奏（運動）にフィードバックされる。以上を支える脳内の神経回路は形態的に皮質皮質間結合が①後連合野内で、②前連合野内で、③後連合野と前連合野との間で、存在するという形で証明されている。この点は強調されるに値する。

第５章　　音と言葉と形象

第５章　ベートーベン (Ludwig van Beethoven, 1770-1820) のスケッチノート
抱かれてあれ、百万の友よ！この口づけをこの世に生を享けた、災害地の人々、戦火の子どもたちに贈る！　Seit umschlungen Millionen! Diesen Kuss der ganzen Welt!

１１節　言語と音楽

先に演奏家が楽譜を見たとき、しかも初見のとき、実際の演奏などの外の音を聴かずともその音を理解（認知）していることを述べた。すなわち、第一聴覚領 (A1) は興奮しないが聴覚連合野と言語の領野 (ウェルニッケの一部) は活動しているという所見である。このことは何を意味しているのだろうか？また、これから、どのようなことが考察できるだろうか？。その意味の解明、考察のためには、どのような実験を組み立てたらよいか。たとえ明白に証明することができなくとも、ここに隠されている重要な事実を解く鍵を得るべく研究を前進させたい。

言語の意味処理と音韻処理はどのように選別されるのか

まず音楽と音声言語の関係について考えてみる。空気、鼓膜、耳小骨、そして内リンパ液の振動として、気相、固相、液相内を伝播した波の振幅が増強されて、内耳のコルチ器官内で振動エネルギーが電気エネルギーに変換され、聴神経を通って脳内に伝達される。

音楽も音声信号も視床から興奮入力をうける第一聴覚領 (A1) のレベルでは、音素という同じデジタル化された電気信号をうけていると言える。中田や酒井のグループ、その他の研究者たちは、近年、人に連続音（メロディー）を聞かせたり、言語の意味処理や音韻処理を施行させ、最新の画像解析装置（後出）を駆使して脳の活動を可視化し、その機能を調べている。

その結果、聴覚系、視覚系ともに頭頂葉や前頭葉の言語域を含む領野で機能領域の解離が認められると報告している。この際の言語域にはウェルニッケ野やブローカ野も含まれ、聴覚性および視覚性言語の意味処理と音韻処理の選別がなされることが明らかにされている。すなわち、中田 [2000 、立花による紹介記事] は、ヒトに言葉を含む音楽を聴かせて fMRI を用いて調べた結果、いわゆる聴覚連合野に活動が現われると同時に、右側後頭葉前部と左側島域に活動を認めている。そして、前者を音楽の要素、後者を言語の要素と解釈している。とはいえ、聴覚性言語と音楽との選別や、一方、共に含まれている文法や楽典が使う意味・構成（syntax）が、どのように、どこで処理されるかについての詳しい研究はなお今後の課題である。この問題は改めて後述されるが（１２節）、それに先立って、言語と脳機能との関連性をめぐる根本的問題を見ておく。

言語に共通した普遍性

現在、地球上には数千種ともいわれる言葉が話されているが、この自然言語の著しい多様性という謎に直面してチョムスキー [Chomsky, 1928 －] は、人間の言葉には「文の構造に一定の文法規則があり、それが多様に変化され得る」という「ダーウィン型新言語生得説」とも言うべき「言語における生成文法理論」なるものを言語に共通の普遍性を明らかにすべく提唱した。因みに、生成文法とは「言語の獲得過程で自然と身に付くような文法知識」をいう。この理論は、言語の「表層構造」としての多様な表われの背後に普遍性を持った「深層構造」の存在を強調している。人間は成長するにつれていわゆる母国語に慣れ親しみ、学習を通じてその方法や表現法を身につけていく。この過程は、ごく一般的に言えば幼稚園、小学校からの母国語教育に相当するが、別の見方をすれば、この過程こそ、脳機能の母国語化に他ならない。

このような脳機能の特定化に先立つ脳機能の柔軟な言語性、もしくは言語の根源形態とでも呼ぶべき原言語との関連性の中で、人間は生まれつき言語種によらない普遍的な言語処理の能力を備えているとされる。この「普遍文法」の処理能力に関して、その脳における機能局在と機能分化を明らかにすべく、酒井らが、fMRI、TMS、光トポグラフィー（Optical Topography, OT）などの脳機能イメージング法を用いて研究のメスを入れている [橋本、保前、野口、エンブリック ら、1998a,b ; 2000a,b,c,d ; 2001, 2002a,b,c,d]。つまり後連合野および前連合野における言語情報処理のメカニズムに関し

て、これを文法や意味など言語知識に含まれる種々の要素に対応した幾つかの「言語モジュール」に分けられると考え、その関連性について幾つかの点を明らかにした。酒井グループが用いた文章実例の一つをここに挙げると、

１）文法判断課題
「ゆきを　さわる」、「ゆきを　つもる」、「みちを　ゆずる」、「みちを　こおる」、「ぬのを　かわく」などの文を、３文字ずつ 0.2 秒ごとに提示し、被験者に緑または赤のボタンを押させて正否を判断させる。1 番目、3 番目の文は文法的に正しいが、２番目、４番目、５番目は文法的に間違った文である。しかし、各々「ゆきが　つもる」「みちが　こおる」「ぬのが　かわく」とすれば正しい文になるので、意味のつながりは正しい文である。この課題は、自動詞・他動詞の区別を知らない小学生でもできるので、日本語の獲得過程で自然と身につくような文法知識（生成文法）が必要であることがわかる。
２）意味判断課題
　課題１）と同様に文を提示して、この文が意味的に正しければ被験者は緑のボタンを押し、正しくなければ赤のボタンを押す。意味的に間違った文の例は、「ゆきを　しかる」「みちを　ひろう」「ぬのを　みのる」である。これらはすべて、文法的には正しい文である。
（以上は、2002 年 12 月、東京ガーデンパレスにおける、酒井によるシンポジウム / 講演「言語機能に基づく言語獲得装置の構築」からの引用である）

　ここから彼らは以下の点を明らかにした。すなわち、①会話文を文節単位で提示して文章を全体として理解するという課題を行なったとき、後連合野内の後部言語皮質に属する角回（広義のウェルニッケ野内、この領域については、川村、1981, を参照されたい）の下部においては、音声による提示（聴覚条件）でも文字による提示（視覚条件）でも同時に活動を示したが、前頭葉のブローカ野においては、聴覚条件ではその上部域が、視覚条件では下部域が、というように部位選択的に活動していた。この結果は、ブローカ野では文の情報を各々異なる要素に分離して処理していることを示唆している。② ブローカ野において統語処理を調べた結果、(i) 代名詞が名詞を示し得るか、(ii) ２つの名詞が一文章の中で相互に文法的関係（主語・目的語）を結び得るか、を判断するという課題で、(i) ではブローカ野の背側部が、(ii) では腹側部が部位選択的に活動するというように、異なる統語処理モジュールに関係する領域が互いに解離していることを示唆する結果を得た。また、③前頭葉の中央部において、名詞句と動詞句の意味の整合性を判断させる意味処理と、動詞句のアクセントの位置が正しいか誤りかを判断させる音韻処理とが、独立して行なわれることを示唆する有意な皮質活動が得られた。

　酒井らの優れた功績は、ブローカの運動性失語症例の発表以来、ブローカ野を単に「意味のある言葉として声を発することを可能ならしめる」領域として理解するに留まっていた段階から、被験者に提示される文章理解課題の内容と方法に工夫を凝らした巧妙な実験パラダイムの下で、PET、fMRI、TMS、OT といった脳機能イメージングの技術を駆使して、脳の局所活動を解析することにより、「ウェルニッケ野を超えて、ブローカ野は言語理解の過程で文法処理に選択的に関与している活動部位」として同定するという、一段と高いレベルの理解に押し上げた点である [Embick et al., 2000; Sakai et al., 2001, 2002c; Hashimoto and Sakai, 2002b; Noguchi et al., 2002d]。この一段は研究（者）の歩みからすれば一段に過ぎないが、ヒトの脳機能の解明に関してばかりでなく、人間の精神活動、表現活動の全般にわたる理解にとっては飛躍的なジャンプを意味する一段であると言えよう。

　これらの事実は、少なくとも聴覚系の場合、言語であれ音楽であれ「聞き取られた入力情報」は電気信号として第一聴覚領皮質 (A1) に到達した後に聴覚連合野へと進行し、「ウェルニッケ」野以降に、意味を成立させている「構造（文法、楽式）」と同時に意味と不可分に結びついている「響き」とに選別される可能性を示唆している。つまり、聴覚連合野（ウェルニッケ野）で受け取られて、そこで、電気信号の種類別が認知され、各々の信号に応じてその後の機能（活動）領野が選択され、そこへ送信される、そのような選別と送信を行なう機構の存在を考えさせられる。

　それはどのような形で存在するのだろうか？

デジタル信号のアナログ化

　音楽も言語も基本的には音素から構成される音の響きを持っており、これが「ウェルニッケ野」と呼ばれる後連合野で認知される。このように考えると、従来からの臨床上の欠落症状を基に、漠然と大脳皮質の広い範囲を採って定義された「ウェルニッケ野」と称されている領域は狭い限局された意味での「言語野」ではなく、むしろ、「響きを感受し選別する場所」として捉えた方が事実に即しているように思われる。すなわち、ここで種々

の響きの違いが、おそらくデジタル信号の組み合わせの違いに基づいて読み取られ、或る形態のものは言語として、また別のものは音楽として、おそらくアナログ化されて、選別されていくように思われる（この文脈の中で取り扱うには複雑になるので、言語と音楽の問題を含めて大脳半球の機能に関する左右差、いわゆる左脳と右脳の働きがどのように分担されているのかの問題については後述する [４３節参照])。この選別は、先に述べた後連合野から広義の背側経路と腹側経路を経て前連合野に伝達され、前頭葉の活動に反映されることになるが、まさしくこの点に関して再考されておかねばならないのが、他の大脳皮質部位と大きく異なっている前頭葉の働きである。ヒトの場合は、前頭葉内にブローカ野が発達し、ウェルニッケ野と機能上結びつき、その関連性の上に立ってはじめて言語（音楽）の「意味するもの」が捉えられる。

fMRI を用いて、最近、保前らは、文章理解テストに際して与えられた聴覚性および視覚性の言葉の情報が、ブローカ野が存在するヒト左側下前頭回に集中 (converge) するという所見を提示したが [Homae et al., 2002]、前頭葉のこの領域に関しては、視覚や聴覚などの特定の感覚様相に個別に関わって特定の処理形式のみを行なうといった局在性は見られず、その全体を統括的にコントロールする機能がこの前頭葉に存在すると考えられる (Prabhakaran et al., 2000)。

サルとヒトの認知情報の処理機構

視覚および聴覚による形象 (Gestalt) や空間 (Raum) の認知情報は、味覚、体性感覚、嗅覚が多少加わるにせよヒトの場合、言語認識という高度に抽象化された記憶概念として、一方は情動的要素が加わって側頭葉から腹側路（解剖学的には、鈎状束 uncinate fasciculus ）を通り、他方は自己の状態を位置的に時間的に同定するという空間認知として、頭頂葉から背側路（解剖学的には、上縦束 superior longitudinal fasciculus）を通ってともに前頭葉に伝達される、いわゆる二重の認知機構となっている。さらに、サルにおいて後連合野から前頭前野への局在性を持った幾つかの小さな連合線維群が認められる [Kawamura and Naito ,1984] ことから、皮質連合野がさらに著しく発達したヒトの脳においては、前、後の連合野内に存在する言語関連領野間を直接結ぶ線維群が量的に増大している可能性は十分に考えられる。なお後連合野には、音と音声言語（話しことば、voice)、色と形と文字言語 (letters; sentences) という選別機構が存在するように思われる。

一般に動物において、情動と認知（ 自己の認知をふくめて ）の原始的、受動的な環境からの情報はこのように後連合野で処理されたものが前頭葉に伝達される。そしてはじめて、その動物が持つ最も高い次元の神経活動として、能動的かつ共働的に外界に対して働きかけるものとしての精神活動を発揮することができるようになる。先の酒井らによるヒト前頭連合野における言語処理の研究結果が示すように、視覚的にも聴覚的にも高度の言語法則の処理がブローカ野およびその近傍で行なわれていると考えられる。具体的な実証を待たなければならないが、この言語情報処理の研究でみい出された高次の規則・文法・法則の処理は、言語のみならず、別記の MEG による解析結果からしても、これと同様のレベルで音楽や美術の領域における響きや数比例を対象とした（情報）処理にも当てはめ得ると判断される。この点、大いに関心のもたれる所である。これに関して、以下に最近の音楽文法（法則）を認知することに関連した脳活動の研究を紹介する。

事象関連電位を用いて調べた言語と音楽の関係

言語活動に特異的とされている P600 事象関連電位 (ERP) の研究を行ない、言語と音楽の関係について調べたものがそれである [Patel et al., 1998]。すなわち、これは音声や文字や音楽による刺激を与え、それらに同期させて脳波を測定したとき、潜時 600msec に出現わする波の性状を調べたもので、言語、話し言葉であれ文章表現であれ、その構成 (syntax) の処理に関わる文法と、音楽における、音の響きの組み合わせを支える骨格としての音の文法すなわち楽式（Form）に沿った、調和した音楽内容の構成処理 (syntactic processing) に関連する神経活動について、言語の不一致や音楽的不調和を知覚したときに見られる神経活動についての研究である。その研究・調査の結果、音楽に特異的な ERP が右側の前頭－側頭半球に優位に認められ、さらに言語と音楽と共に、それらの認知過程における神経活動の特異性の問題をパラレルに（並行して）究明し得ることが示された。

また、ケルシュらは、音楽の専門教育を受けていない、いわゆる音楽専門家以外のごく一般の人に、不協和音やいわゆる音楽の自然な流れと呼ばれる音楽の文法に外れるため予知できないような不自然な音を聴かせて、予期される音楽内容（楽想）が突然乱されたときなどの状況を設定して脳波を観察したとき、つまりこのような音楽の認知処理機構の状況を作ったときに出現わする ERP を調べた [Koelsch et al., 2000]。推察するに、このような

状況下で人間は前の調べ（響き）と関連させて、前後２つの響きの間になんらかの意味ある関連性を見い出すことによって音楽の内容を新しく作り上げようとし（build－up［= 認知における第二の創造としてのコンポジション］）、聴いた音の情報を、これまでに認知してきた音楽内容の中に統合 (integrate) しようとするのであろう。

その結果、２つの種類の ERP が発見されることになった。すなわち 1 つは期待した音・響きの乱れを反映すると思われる測定初期に前頭部に出現わする右半球優位の陰性波（an early right-hemispheric preponderant-anterior negativity）と、もう 1 つは予期せざる和音に対して求められる高度の統合力を反映すると思われる左右両半球に続いて出現わする前頭部陰性波（a late bilateral frontal negativity ）である。この early right-anterior negativity (ERAN) は、長調 / 短調の構成の際にみられる不適切なハーモニー / 和音を聴いたときに現われると提唱されているが、メースらは MEG を用いて、音楽の内容構成不調和ないし不一致の神経基盤の局在を調べ [Maess et al., 2001]、先の酒井らの研究結果と同じく、音楽文（章）法構成（ musical syntax）がブローカ野で処理されることを見い出した (mERAN)。

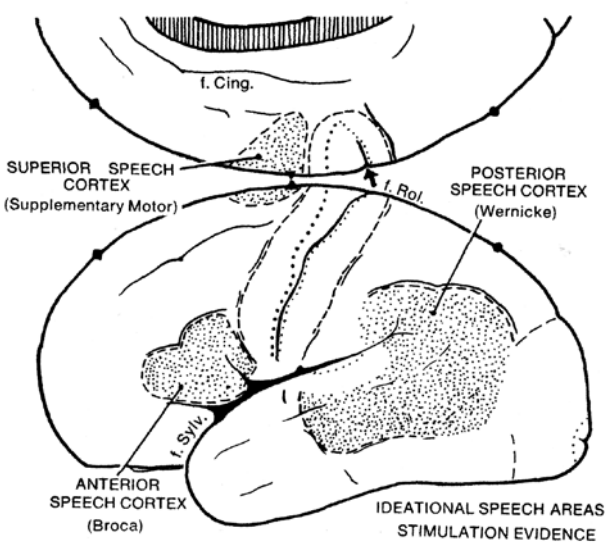
なお、音楽に関する脳機能の研究においては、どの研究であれいずれもサンプリングに大きな問題を残していることは、これも今後の課題と言わねばならないであろう。たとえば音楽の認知処理に関して音楽専門家と非専門家の区別をつけるのは必ずしも容易ではなく、普通に考えられる音楽の専門教育を受けた専門家という判断をまず第一に排すべきであり、音に対するなんらかの脳内反応をベースにして音楽に対する感受性の差異を抽出した上で実験を行なうのがよいであろう。音楽の専門家が音に対する脳内反応の実験に適しているとは言い難いからである。また協和・不協和の聴覚実験のような場合に、何を判断基準にして不協和音を判断するかはきわめて難しい問題である。欧米系の人間は子供の頃から教会等でヨーロッパ近代の和声音楽に親しんでいるため和声の法則に従って響きの機能を判断するのに慣れており、その法則に外れた音を簡単に不協和音ないし規則外音として捉えるが、こうした習慣に親しんでいない人々にとっては規則外音が非和声的であるとは言えない。さらに、不協和音を数比例の面から捉えた場合、純粋な協和音は１：１と１：２に限定され、一般に協和音の部類に含められる２：３は厳密に言えば不協和音になるため、数比例のどのレベルまでを協和音とするか否かを規定してから実験に取りかかるのが望ましい。

１２節　古典的言語野：ウェルニッケ野とブローカ野

このような最近の研究から改めて言えることは、脳損傷例に基づいて理解されているウェルニッケ野は受動的言語理解野で、ブローカ野は能動的構音野であるという古典的・教科書的概念（図２２）は再考を要するであろうということである。
＄（図２２）

すなわち、ブローカ野は文法処理、意味処理などに働き、ひとつの文章のようなものの全体をひとつのまとまりあるゲシュタルトとして捉えることによって、いわば統一的に物事を把握するという、概念的には比較的高いレベルの認識ないし理解の機能も含んでいる。その場合、ウェルニッケ野の機能は、個々の単語や単純な語句や文節の意味を大づかみに理解するといった種類のものかもしれない。読まれ、聞かれた言葉が連続的に統一されたものとして把握されるには、ブローカ野の活動が必要であり、その前の段階として、いわばより低次の段階に属するロジカルでない漠然としたものの理解に関わるのがウェルニッケ野であろう。

おそらくウェルニッケ野は、言葉の文法処理、意味処理が不完全であっても、文章や会話の意味や流れを全体としてなんとなくつかめるといった、概念的判断といったレベルからすればさして高等ではないにもかかわらず、やはり人間の認知活動にとっては無くてはならない働きをする認知機能に関わっているように思われる。



（図２２）図５－１２：古典的言語野：前言語野（ウエルニッケ野）と後言語野（ブローカ野）と上言語野（補足運動野内）の領域と位置関係を示す。(Penfield と Roberts, 1956)

ヒトの大脳「島」皮質

この他に、大脳皮質島葉 (insular cortex)、とくに左側、が言語に関係する領域として注目されている [Dronkers, 1996; Manes et al., 1999; Flynn et al., 1999; Ardila, 1999; 永井ら、2002] 。ヒトの島皮質は大脳の外側溝の深部にあって、その表面は弁蓋部と呼ばれる前頭葉、頭頂葉および側頭葉によっておおわれている。島皮質は前方域でブローカ野と、後方域でウェルニッケ野と隣接しており、おそらく共に短い連合線維（弓状線維）によって結合されている。またここには、味覚、聴覚、嗅覚、視覚、触覚をはじめ内臓知覚に至るまで種々の感覚の入力があり、それだけに様々な機能に関与すると考えられており、実際、最近の PET や fMRI などの画像脳機能測定技術によりそのことが示されてきた。島皮質は帯状回前部、前頭前野、扁桃体、聴覚連合野、視覚連合野、上側頭回、側頭極、嗅内野など広範囲の脳部位と線維連絡を持っており、ここでは異なる感覚種の機能が統合的に処理されている可能性が考えられる。このような領域が信号の符号化といった高次の認知機能を備える「言語（関連）領域」に関連しているとしても不思議ではない。この部位の障害により、臨床的にも構音障害、運動性の発話障害、話し言葉でイントネーションやリズムが乱れるアプロソデイ (aprosody) などの言語障害が観察されているからである。

「古典的」言語野の再検討

このように、いわゆる言語野はブローカ野とウェルニッケ野以外にも存在し、言語活動時に画像解析装置で調べてみると幾つかの領野が有意に興奮し、活動していることが示されている。これら 4 ないし 5 箇所以上の複数皮質領域が互いに皮質間線維によって連結し合って、すなわち記憶を動員した動的（ダイナミック）な機能的結合が形成されることによって、皮質内の神経回路を電気興奮が伝わり、言語が理解され、意味ある言葉が発せられることになるのである。この際、後連合野から前頭前野への神経伝達に加えて、逆方向にその流れを調節し、あるいは反響する形で前頭前野の能動的作用によって「処理された」情報を前頭前野から後連合野へ伝える神経回路による働きがあって然るべきである（後述、４１節、４７節、未発表のサルの自家所見あり）。

この前、後の連合野間の相互結合は、これまた両連合野と大脳辺縁系との相互結合と共に、前者の結合は認知機能、後者のそれは情動機能の高いレベルでの活動を支える形態的基盤として重要である。情緒的表現が込められた言葉を用いて思考の道筋を立て、内容的にも、文法的にも通用できる言葉で意志を伝えることが人間社会で日常的に求められるからである。精神障害者、とくに統合失調症者の会話などに見られる感情の乏しい表現や、前後の話し言葉の間に見られる相互の意味関連を欠いた連合弛緩（Assoziationslockerung）は、このようなレベルの第一および第二信号系（条件反射）の機能障害に基づくものであろう。

13 節　Fm θ について

知的活動、音楽活動、宗教的瞑想のときなどに見られる Fm θ 波

これまで多くの研究者によって、脳波と精神活動との関連が調べられてきた。脳波は 1929 年ベルガーによって発見された、ヒトの脳機能に関する基本的な神経・精神生理学的な指標である。その検査の 1 つに内田－クレッペリン検査という連続して計算（算術）を被験者に行なわせたとき、前頭葉最前部（Fz 誘導部位）に θ（シータ）波を初めて観察した、石原と吉井によって Fm θ と名づけられた研究がある [Ishihara and Yoshii, 1972]。その後、脳波や脳磁図を用いて前頭連合野（＝前頭前野）の機能に関しての研究が進められてきたが、佐々木ら (Sasaki et al., 1994,1995,1996) は、眼を閉じて音楽を心の中に思い浮かべさせたり (musical imagination, play music in mind)、注意を集中して暗算をさせたりしたとき、被験者の両側前頭葉に 5 － 7 Hz（ヘルツ）の frontal midline theta rhythm (Fm θ) といわれる律動波を左右の前頭葉－右側が多少より強い－に見い出し、それが知的活動に対応していると解析している。音楽を聴いた時には、この Fm θ 波がとくに右側前頭葉において検出され、この領域の活動を裏付けている。さらに佐々木ら (1996) は、交響曲やピアノ曲のように多くの音が同時に鳴る音楽、あるいはポリフォニー音楽（モノフォニー音楽では有効でなかった）を心に思い浮かべたときとか、禅僧の瞑想時にこの Fm θ がしばしば出現わすると報告している。このように、θ 波帯域 (theta band) の活動は様々な高次脳機能に関与していることが示されているが、最近ヒトで、特定の広い空間を囲む四つの壁に沿って走ることを連想し、各コーナーでボタンを押すなど、いわば「空間を走る」という空間移動連想課題を施行しているときに数サイクル続く θ 波オッシレーション (oscillation、空間的に離れたニューロン群が同じ刺激に対して同じ頻度かつ同期して発火する現象) が出現わすることが報告されている [Kahana et al., 1999] 。

Fm θ波の発生源

浅田らも脳磁波と脳波の記録を同時併用して、２分間集中して暗算、迷路解きなどのメンタルテストを行なわせ、この際に見られるFm θの起源について調べた[Asada et al., 1999]。このようにして脳磁図で解析した結果、双極子追跡法を用いてその電流源 / 活動源は前頭前野と帯状回前部を含む内側前頭前野皮質であろうと推定した。ところで脳磁図解析法は脳活動に伴う微弱な磁場を検出し、増幅して測定するものである。この際、発生する磁場の分布から逆に脳内の電流源（双極子）の位置を推定するので解が一義的に定まらないという欠点がある。つまり、推定に過ぎないという批判は避けられない。しかし、サルにおける連合線維結合の研究からではあるが、前頭前野（とくに４６野）、帯状回の前部と後部、頭頂葉（その7a野）、上側頭溝の諸領域が相互に結合していることが明らかにされている[川村、1977; 1988]。とくに前頭前野と帯状回前部は上述の如くFm θ波の発生源と推定されている領域であり、さらに興味深いことに、後述されるように（23節）、この領域は中脳の腹側被蓋野(VTA)から起こるドーパミン皮質投射線維が多量に終止する皮質領域と一致する。

さらに近年、この領域はまたワーキングメモリーに関連して、前頭前野におけるD1ドーパミン受容体の役割について強い関心の下に調べられているところでもある[Sawaguchi and Goldman-Rakic, 1991; Williams and Goldman-Rakic, 1995]（後出、23節）。なお、高振幅で１秒以上の間出現わする4.5 ～ 5 － 7 ～ 7.5 Hzの脳波律動で前頭葉の比較的広い範囲に発生することが、後にMEGによってもFm θ波として調べられ、これは最初脳波(EEG)で前頭正中部に最大値となる活動として認められたものである[Yamaguchi,1981]。最近は、脳波やfMRI（局所血流の上昇や低下を指標として）を用いて、Fm θ波の出現部位を脳の局所部位として特定しようとするのではなく、シータリズムの細胞が脳内に分散されて存在すると考えられている。そして、それらが動的にリンクされて、前頭前野、帯状回、頭頂葉、側頭葉、および後述（２１節）される海馬など複数の領域が関連してコヒーレントに（coherent、相関をもって）活動する「機能的結合性、functional connectivity」という「連接」の経路をシステムとして捉えることによって、高次神経活動（＝精神活動）を解析することに関心が向けられている[Mizuhara et al., 2004, 2005]。なお、このシータ波に対して"midline (正中)"という名が付けられたが、"mental (知的)"と読み替えて「前頭葉知的シータ波、frontal mental theta rhythm (Fm θ)」の方が適当と考える人達も多い。

人間の高次精神機能

ところで、最も高次に発達している前頭連合野の最前方部においての研究は技術的にも困難を伴い、ヒトにおいてこれ以上の明らかなデータは得られていない。将来、この領域において、音楽の聴受または内聴に関連する活動のより詳しいデータが得られるならば、昔から、真・善・美とか、道徳・倫理・宗教・審美・正義など、人間の高次の精神機能に関連する問題領域として捉えられてきた哲学的概念の発展・成立の過程に関して、自然科学的メスが入れられることになるであろう。おそらく、この視座が確立されれば、バッハのフーガの響きを聴くときに、このような規模での認知に近づけるかと思われる。

前頭前野でなされる形と音と色と数の本質的対応と昇華、すなわち音楽や数学、哲学的・宗教的瞑想、空間における形象という、各々に異なる精神活動に依拠すると思われる人間の知の領域がいずれも前頭前野に起源し、しかも人間の知の歴史の中でこれらに精神の所産が宇宙論とも結びつけられてきたと言えよう。人間の表現した思想や芸術は世界ないしは宇宙を映し出していると判断され、たとえばひとつの音楽作品、その響きの空間がミクロコスモスと呼ばれてきた。しかもこれらの機能や活動の場が前頭前野の最前方部に集合しているように、表面的には異なるものに見える哲学や音楽・建築等々もまた一点に、すなわち数によって象徴される宇宙の在り方に収斂されよう。

「建築は凍れる音楽である（ライプニッツ、またフェノロサが薬師寺東塔の美しさをこの言葉を借りて表現したと言う）」、「音楽は魂が無自覚的に行なう算数（数学）である（ライプニッツ）」といった表現は、こうした脳の高次機能に媒介される能動的な精神活動をいみじくも鋭く言い当てていたことになる。

ところで、ヒトの脳において総合的に音楽は右脳優位に、言語は左脳優位に活性化されると推察されている。しかし、脳の認知活動は多様性に富んでおり、しかも全体的であり、また種々の概念形成段階に質的差違がみられる。このことから考えて、音楽家や演奏家を被検者に選んで彼らの音声認知活動における脳内活動の流れをたとえば画像解析することにより、貴重な資料を得ることができよう。その際、音楽（メロディーのみのとき、あるいは言葉が含まれるとき）や音声言語の音韻処理、意味処理、概念化のレベル（日常生活レベルか思想的、哲学的に高次のレベルか）の区分などを含めて、データを脳の機能局在（後連合野か前頭前野かなど）と時間的連

続性などに留意して解析することができれば、大きな収穫が得られることは確実である。これは将に音楽家と自然科学者の共同でのみ遂行される作業である。

言語における「子音」と音楽における「休符」の意味の類似

このような研究を行なうにあたって考慮すべき点であるが、「音楽」と「言語」が電気信号によって区別されるためには、この２つの事象の違いが明らかな形で信号化されている必要があろう。たとえば、言語と音楽の響きとの違いの手がかりとして、音楽には存在せずに言語に存在するものに注目してみる。この相違は「言語」における特有な現象である「子音」の使用に深く関わっていると考えられる。「子音」は持続する「母音」の響きを切断し、いわば言語のモールス信号化を行なう。これに対応するものとして、音楽の場合には休符、もしくは最初から持続の長さを決定し、一定の時間の経過後に必然的に空白（切断）が行なわれるべく定められた音符（の持続･時間性)による切断を挙げることができる。従って、「子音」つまり本質的に「音」を持たない切断する「音」は音楽には存在しない。一方、言語とは逆に、音楽に存在して言語に無いもの、もしくは乏しいものは音の高低を法則に則して決定する、数比例関係によって捉えられる振動数（比）の明確な関係である。

14 節　発声機構の発達

発声器官とそれに関わる筋肉と神経の発達

ここで一歩しりぞいて考えてみて、一般のサルやチンパンジーやヒトの音声はどのようにして作られるのであろうか。これらの「高等な」動物では、空気の通り道であり、迷走神経支配の声帯筋や声帯靱帯が入っている喉頭の内腔にある声帯ヒダが振動して声が生じるという機構になっている。声帯ヒダは前庭ヒダとともに喉頭の内腔の壁に両側に張り出しており、その間隙／声門裂（＝声門）を空気が流れ、迷走神経が働いて声帯の緊張や声帯裂の幅が変化し、声帯ヒダが振動する。ここで作られた空気の振動が咽頭を通って口腔と鼻腔などの付属共鳴腔内で共鳴することにより音声が生まれる（図２３）。

母音と子音の組み合わせで作られるヒトの音声

乳幼児の発声は「アー」や「ウー」といった、笑ったり泣いたりするときに発する母音を以て始まる。子音を発声させるためには、それに関連する発生機構の発達が必要であるし、言葉として巧みに連続的に発語するためには、前頭葉皮質を含む脳が全体として活動していなければならない。

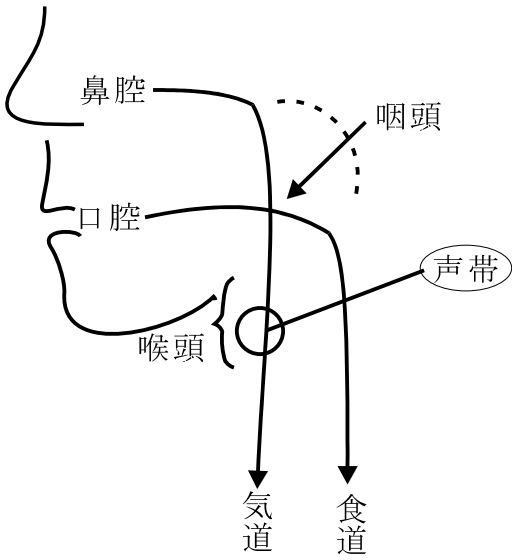
すなわち、音声を作る共鳴腔を使って、母音と子音とを組み合わせて音声を作るためには、この空間の壁をつくる筋肉（喉頭、咽頭、口蓋、口腔を形成する構音筋や表情筋など）とその支配神経（迷走神経、舌咽神経、顔面神経、三叉神経）系統の発達が必要である。

サカナからカエル、サルからヒトへの進化

系統発生学的にみると、鰓呼吸をする魚類から肺呼吸をする陸棲動物に進化する過程で、魚の顔面皮膚に開いていた水の出口と入り口の穴が管状につながり（この中に鼻の原基に相当する嗅覚器がある)、さらに口腔の天井と連続して鼻腔と咽頭が交通する。

哺乳類では、両生類で形成され始めた口蓋（一次口蓋）が二次口蓋として完成され、鼻腔は口に開くのではなく咽頭―気管―気管支―肺と連なる気道を形成する。このとき気管の先端の喉頭が上に突き出て鼻腔後方の出口にはまりこむ。その結果、鼻から真っ直ぐに喉頭－気管へと流れる「気道」と口から気道の横を通り「食道」へとつづく通路とが分離することになる。

こうして２つの道の立体交差の形が完成する。直立歩行を可能にしたヒトの段階になると、喉頭の位置が低くなり、鼻腔と喉頭が分離され、鼻からでも口からでも容易に呼吸することができるばかりでなく、声帯を持つ喉頭から口に空気を出すこともできるようになる。他の動物と違って、ヒトでは喉頭蓋の開閉が可能になったために、気道と食道とは咽頭で立体交差をするのではなく、点滅信号機付きの平面交差をするようになる。そして、声帯で作られた空気の振動を複雑な形に変化させ得る拡張された口腔という付属共鳴腔内で連続的な母音の声を切断し、かつそこに挿入する子音を含む複雑な音を加工し、発語できるようになった。こうして、サルの未発達の喉頭（や口腔）は、ヒトへと生成する経過で社会活動が要請されて、音の抑揚の変化が次第に大きくなることによって作り変えられていった。これはコミュニケーションに際して母音のみを連続的に呼気にも吸気にも発声するチンパンジーの段階から、喉頭と共に舌骨の位置も生後下顎の位置から下降する (Nishimura et al., 2003) という生物学的発展を遂げて獲得したヒトの発声における際立った特徴であり、子音発声機構の発達は言語の発生と深く関係する重要な注目すべき点である。



（図２３）図５－１４：ヒトの気道と食道の構造を示す模式図。気道と食道が咽頭部で平面交差することに注意。

最近、単語の発音で母音に誤り（錯誤）の多い脳梗塞患者と、子音に間違いの多い脳出血患者（共に頭頂葉および側頭葉に障害のあるイタリア人軽度失語症女性）の症例を検討した結果、「脳内に母音と子音のカテゴリー上の区別があり、これらは別々の神経機構で処理されていることが示唆される」という内容の論文が発表わされた [Caramazza et al., 2000] 。論文の記述から推測する限り、後者の脳においては、左側の 39 野（角回）、40 野（縁上回）、22 野（上側頭回）の障害がより大きく局所的で、これに対して前者の脳では小さい梗塞がより微慢性に認められたようである。勿論このような母音・子音の弁別機能に関する研究に基づく、より明確なデータを手にするのは今後の課題であり、現状ではなお推察の域を出ない事柄ではあるが、子音の発音機構の活動には母音のそれに比して明らかにより高次の言語習得のための一定の領域が関与すると思われる。

言語関連領野の発達

このように咽頭筋、喉頭筋は舌咽神経 (IX) と迷走神経 (X) により支配されており、舌筋は舌下神経 (XII) により、また、口腔や鼻腔の感覚や運動は三叉神経 (V) と顔面神経 (VII) により支配されている。これらの神経核（神経細胞／ニューロンの集団）は脳幹にあり、これらの諸核には、大脳皮質運動野に広い領野を占める舌や（音声）発生共鳴腔器官の復現野または再現野 (representation field) からの神経線維の投射がみられ、これによって神経活動が調節されている。

ヒトでは 1 歳数カ月頃までに母音を主とした発声（会話）が可能になり、２～３歳頃には子音の発声も殆んどできるようになり、言語野皮質も発達して、意味処理可能な会話ができるようになる。すなわち、脳を解剖生理学的に音声言語の観点からみれば、この時点で皮質代表部－脳神経諸核－支配筋およびこれらのフィードバック・メカニズムの第一段階が完成したということになる（注：参照）。

脳機能発達における臨界期

発声に限らずさまざまな機能が発揮される胎児期、新生児期、幼児期は脳の形成にとって重要な時期である。すなわち、特定の機能の発達にとって重要な意味を持ち、神経回路網の形成が集中的に行なわれる、臨界期といわれる「その時期に有効な刺激が必要な適切な一定の期間」がある。大脳皮質の感覚野は、とくに生後の早い時期に、可塑的性質を強く持っていて、この分野の研究はネコやサルを用いて視覚機能について詳しくなされている [Hubel and Wiesel, 1969, 1970; LeVay et al., 1980; Wiesel and Hubel, 1965]。第一次視覚野には左右の目からの情報が分離してほぼ平行に縞模様に並ぶ眼球優位コラム (nearly parallel, stripe-like regions or columns) というものが存在するが、ネコを用いた実験によれば生後２－６週間の「臨界期」に、この５００μｍ幅のコラムが形成される。また、臨界期のネコに縦縞だけを見せて育てると、成ネコになっても横線をうまく認識できない。大脳皮質視覚野における神経細胞の反応を調べてみると、縦方向の線に反応する神経細胞が多くなり、逆に、横線によく反応する細胞が少なくなっていることが明らかになっている。

この生後発達の初期に見られる皮質機能の可塑性の基礎には長期増強 (LTP) や長期抑圧 (LTD) を起こす可塑性シナプスがあり、これが生後の外部環境に適応するメカニズムの基礎にあるものである。神経細胞間の情報伝達が行なわれるシナプス自身の発達は「遺伝的素因」の他に「環境因子」によって規定されるが、とくに感受性の高い時期、すなわち臨界期に著しい変化を遂げ、獲得され、これは生涯にわたって定着する。発達の初期に際しては、シナプスの形態はみられるが活動していない「サイレント・シナプス（silent synapse）」が存在し、これが活動依存的に活性型となる。この活性化のときに、脳由来神経栄養因子 (Brain derived neurotrophic factor, BDNF) が神経の活動と協調し合うことを要することが明らかにされた [Itami et al., 2003; Kohara et al., 2001]。津本グループはこれを発展させて、BDNF が抑制性の（BDNF を自ら生産できない）GABA ニューロンの樹状突起の発達を促進するが、他方（BDNF を自ら生産できる）興奮性グルタミン酸ニューロンに対しては促進作用を及

ぼさないことを明らかにした [Kohara et al., 2003]。しかも興味深いことに、BDNF 以外の神経栄養因子（NGF, NT-3,4,5）にはこのような作用は認められないことを示した [Ishisaka et al., 2003]（注：参照）。

最近ヘンシュのグループ [Hensch and Stryker, 2004 ; Fagiolini et al., 2004] はマウスやネコを用いて、大脳皮質視覚野の発達時期と眼球優位コラムを司る神経回路の働きについて研究し、GABA ニューロンによる情報伝達抑制作用が皮質内の神経回路形成に不可欠であり、生後の一定の時期、すなわち「臨界期」に見られる神経回路の変化（再構成）はこの働きによって影響されることを明らかにした。すなわち、GABA 伝達を促進する作用のある（アゴニスト）ジアゼパムの投与でコラムの構造が拡大し、反対にその伝達を抑制する（インバースアゴニスト）DMCM（カルボリン）の投与では縮小することを示した。さらに、GABAA 受容体の種々のサブユニットの内の一種類の遺伝子のみを人工的に破壊（ノックアウト）したマウスを用いて調べた結果、α 1 サブユニットの機能を取り除いたマウスだけにおいて、臨界期の可塑性が出現しないことを明らかにした。この事実から抑制性である同受容体サブユニットが臨界期の「引き金」となっていると考えた。他の感覚性皮質機能領域についても同様の発達経過がみられることから [Kral et al., 2002]、各々の臨界期に、特定の機能を獲得するために関連する神経系の形態形成に必要な化学物質を動員する機構が生体内に存在すると思われる。この結果は、臨界期における大脳感覚皮質形成にとって興奮性の神経活動に加えて抑制性の活動が不可欠であり、かつ抑制性神経細胞の活動にそれが依存していることを強く示唆している。この際、興奮と抑制の適切なバランスがとられることが重要である。運動系や情動系の場合にも、また言語機能にも臨界期は存在し、ヒトでは、乳幼児期や若い児童期に環境からの情報によって神経回路形成の可塑性がたかまり、集中的に構築、組み換え、再構成が起きる。ヘンシュらの研究は抑制性伝達を制御（コントロール）することにより、大脳皮質の基本構造であるコラム構造や臨界期の出現の時期を人為的に変化させる可能性を示したものと言えよう。このように、発達初期における脳内制御の一般的役割が認められ、さらに研究が発展して、皮質連合野、とくに前頭前野における可塑性（学習）の仕組み、さらには人を人たらしめる、言語的に定式化した、意識的・自覚的行為の成立過程などが解明されることが期待される。人間の青年期（思春期）における精神発達の重要性については後に（57 節）考察されるが、フロイトの精神分析の理論を俟つまでもなく新生児期、幼児期、児童期の身体的および精神的発達は医学的観点からも教育的見地からも重要である。

15 節　外的響きと内的響き

内的響きの神経機構

音楽に素養のある人が音符の連続としての楽曲を黙読して「聴いている」ときは、「音」を視覚的に捉えているのであり、小説の筋を理解しながらその文章を読んでいるときのように文字＝記号に相当する音符＝記号を音声化しているのである。音楽家（作曲家や演奏家）は自分の認識と経験の深さに応じて楽譜を見たとき「頭」の中に楽譜から読み取った響きを持つことができる。高い水準に達した演奏家とは、或る楽譜を「理解」したとき自己の脳内にそれに適する「響き」を形成することができ、その響きにできるだけ一致させて自らの外的響き、すなわち演奏を作り上げる " 芸 " ＝ " 技 " を持っているヒトのことをいう。

注：

言語学者ブルームフィールド [Bloomfield, 1933, 1935] によれば、母音 (vowel) とは、音声に舌あるいは両唇の閉鎖・摩擦・接触を含まない音であり、その範囲内の変更を与えること《modification》により、母音には数個の異なった音素 (a, e, i, o, u, など) が区別される。しかし、これらの音素の間の差違は主として舌の位置の差違にあるという。母音に対照して、その他の音、すなわち、閉鎖音 <stop>・ふるえ音 <trill>・摩擦音 <spirant>・鼻音 <nasal>・側音 <lateral> は子音 (consonant) と呼ばれている。また、ブルームフィールドは、鼻音 (m,n, η)、側音 (l,r) および母音をまとめて、楽音 (musical sound) とし、閉鎖音、ふるえ音、摩擦音をまとめて、噪音 (noise-sound) としている。もっともこの点は、各国語の音韻構造や発音、表現法によって異なる見解を成立させると考え得るので、とくに楽音としての規定には注意が要求されるであろう。

注]：グルタミン酸受容体には、① NMDA 受容体（N-methyl-D-aspartate receptor）と② AMPA 受容体（alpha-amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionic acid receptor）の 2 種類が存在する。幼弱な脳では NMDA 受容体は発現しているが、その受容体チャネルがマグネシウムによって抑制（ブロック）されている。成熟脳になると、NMDA 受容体の近くに AMPA 受容体が出現し、放出された神経伝達物質に先ずこの AMPA 受容体が反応し、その興奮によって NMDA 受容体の抑制が取り除かれるのでシナプスは活性型となる。

この場合、原初的な、たとえば作曲家が聴き取った音を記号化しつつ書き記した音符・楽譜を響きとして、しかも言語野において読み取りつつ、内聴を司る神経機構と連携させながら音の響きを文字記号として認識し内聴しているのである。一見極端に聞こえるかもしれないが、音楽を聴受し演奏することは、高いレベルで、楽譜（作品）とこれを黙読している人間との間でいわば知的会話がやりとりされているように抽象的認識の過程、すなわち概念化、の作用が基盤にあって成立するのである。さらに音楽（家）には音の流れ、調べの中に意味や思想を持たせることができる能力が備わっているが、これにもレベルの相異が認められ、比較的レベルの低い、たとえば直接的に感情に訴えかけるものから高度の思惟に関わりつつ、たとえば超越的世界を問うこともできる。このうち、とりわけ後者の世界は完全に高い次元のロゴスの世界であり、感情をこめて演奏するパトス、アフェクトゥスの世界を超えて昇華された内容に立ち至っている。これは後連合野での実際の響き（演奏）に直接的に結びついている感覚、感性的認識の段階が、知覚性言語領域の機能と結びついて、自己を中心とした空間認知（identityの設定）作用を通じての背側経路および形象的、情動的認知（アフェクトゥスの設定）作用を通じての腹側経路が、前頭葉に興奮を伝えることによって、はじめて可能になる。なお、この場合の空間認知は、哲学的に言えば、自己（存在）の世界内における定位の確認ということになろう。

このときの情報の流れをみると、背側経路の方では知覚系が写像的に運動系に速く（また早く）伝えられるが、腹側経路の方では「情」が加味されて前頭前野で組み換え (conversion) られた結果が、運動指令・実行の系に遅れて伝達される。アフェクトゥスに訴え共鳴された音楽の演奏が「空間に響きがふくらむ」ものを持っていると表現されるのはこのことを言う。音楽における演奏の場合に限らず、人間の表現活動そのものに、つまり脳機能によるいわば制約ないし前提条件が存在する。誰でも同じもの、同じレベルでの表現ができるわけではないことの大きな理由のひとつはここにあると言えよう。どのように高度な演奏技巧を身につけた演奏家でも、その人間の思考の経路が上述した前頭葉の働きを中心としたものでなければ高次の精神活動としての音楽表現を行なうことはできない。

割り切って言ってしまえば、人間は誰であれ自分に理解のできるもの、自分で考え得るものしか表現わすることはできない。この点は、とくに演奏や演劇といった作者と表現者とが異なる芸術形態において明白であると言える。たとえば、バッハの音楽は高次レベルの思考によってその楽譜が読まれ、その内聴音がそのまま外化され聴衆に伝えられたときにのみ、高次精神活動の所産としての真価を発揮することができる。

同様に、ひとつの文学作品、一枚の絵画も、これを読み眺める鑑賞者の脳内パトスの回路の在り様によってその意味を変えることになる。なお、楽譜にしろ文字にしろ、あるいは色彩にしろ、いずれもその受容、理解には既述のように脳の全体、とりわけて言語の広領域活動性が前提されているわけで、脳の高次レベルの活動を基になされる人間の高次精神活動を充分になさせるためには、何かひとつの専門的事象、たとえば楽譜の読み方のみを学習することによってではなく、脳全体の働き、その機能の高次化をもたらす学習が不可欠である。ここで、脳機能全体の高次化を可能にする土台としての前記の臨界（期）説が特別に重要な意味を持ってくる。

以上の聴覚系（音楽に関する）の考察は、視覚系（絵画や文学）にもあてはまる。とくに、視覚＝色という光波の問題は、聴覚の音波の問題と同様に捉え得るように思われる。形・色の要素と楔形文字や象形文字の段階を経て信号化・概念化可能な高次信号文字言語というの使用に至ったヒトの脳の認知機能の問題を、コミュニケーションという社会性を獲得した人間の脳の働きとその進化・発展の歴史性の面から考察することができよう。核酸（DNA、RNA）の転写、翻訳の過程を経て、飛躍的に増大した数と種類のタンパク質が生産され、それらを構成要素として長い進化の過程のなかでヒトは環境に対して能動的に働きかけながら、道具を開発し使用して、社会生活を行なうなかで脳を発達させてきた。この際、聴覚空間よりもより明白で顕著な視覚空間について、自己の世界（外界）内定位＝いま自己が置かれている或る状況の中に、どこにどのように置かれているかの自己認知との関連において人間の精神の発達過程を考察することもできよう。すなわち、視覚表現においても高度に抽象化された概念を表現わすることができる。或る図象においてそこに描かれている図柄とは必ずしもイコールで結びつき得ない、異なる存在をアレゴリーとして認知させるのがそれで、たとえば四角形はヘビの図は知恵を示し地上（的なもの）を表わし、円は天空、天上、永遠リンゴは原罪を表わすなど、このアレゴリーの手法はヨーロッパのキリスト教宗教画に色濃く反映されている。また、数を芸術（表現）に取り入れた事例もここに属すると言えよう。

数秘術とバッハ

古来より人間と数の関係には複雑なものがみられるため、数が人間にとってどのような機能を持つかは簡単には論じられないが、数という抽象性の高い記号によって人間が何か抽象的思考を表わそうとして来たことのよい例証がある。古来、ゲマトリア（数秘術）と呼ばれる長い歴史を持つものがあり、ユダヤ教のカバラと結びついてヨーロッパの芸術の中でも表現技法のひとつとして利用されて来た。A＝1、B＝2と言うようにアルファベートを数に対応させるこの考え方によれば、たとえば4は世界の秩序を表わし得る。世界は東西南北の四区分を持つからであり、また古代ギリシア哲学によって空気・火・水・土の四元素（の配合）によって世界は構成されているとされたからである。

いまこの4という数を音楽にあてはめた場合、4つの音によってそれは表わされる。音楽家のうち、カバラ＝ゲマトリアによる宇宙構造の探求に興味を示し、実際に自分の作品の中でこれを利用した例としてバッハの名前を挙げることができるが、バッハの名前は4つの音を組み合わせたものであるため、バッハの音を響かせると、バッハによって探求され、認知された世界（の構造）が響くことになる。また、バッハの名前による4つの音は楽譜の上で十字架形をなを表わすため、バッハの教会音楽の中で十字架と結びついた世界の様相を示すためにバッハは好んで自分の名前による音型を利用している。

この曲例のうち、図２４ではBACHの名前が組み込まれているのが見られる。次の曲例（図２５）はBACHの名前の数１４（B＝2＋ A＝1 ＋C＝3＋ H＝8）を１４の音符にあてはめてフーガの主題が形成されたものであり、こうした例はBACHの音楽に親しんだものやゲマトリアに通じたものには響きの象徴として聴かれることになる。BACHのテーマは音楽家バッハの存在や、を、かつ4元素＝宇宙構造といった種々の事象を伝えるであろう。

音と色とアクションの総合芸術（オペラ）

一方、音と色彩のアクションを組み合わせて具象→抽象の高次概念の表現を意図したものの一例としてヴィーラント・ワーグナーによるオペラ作品の演出を挙げることができる。有名な作曲家ワーグナーの孫として生まれたヴィーラントは専ら祖父の作品を上演するために建てられた南ドイツ・バイロイトの歌劇場で演出家として活動し、後世に多大な影響を与えた。第二次大戦後に、彼はそれまでのオペラの演出、とくに舞台上の大道具・小道具等を使った具象的な方法を全面的に改め、照明の微妙な変化を主体とした抽象的な舞台を作り上げることに成功した。

ワーグナーの舞台作品はヨーロッパ中世の民話や神話をテーマにしているため、中世の騎士等の姿をした歌い手が舞台で演技をしていたのに対して、ヴィーラントは衣装も簡潔な長衣等に改め、オペラのストーリーの進展と、それに伴う登場人物の心理・精神状況を色彩＝照明によって表わすようにしたのである。その結果、舞台はきわめてシンプルなものになり、聴き手の聴覚に会わせて視覚の抽象的思考を促すことになったのであった。このことは、単に演出手法の変化を意味するに終わるものではなく、音楽・文学・芸術・演劇の総合によって成立するオペラそのものの在り方を変えるものであった。

１７世紀以来、ヨーロッパで作り出されて来たオペラは、舞台上に、いわば映画のように、具体的な情景を展開させるのを旨とし、それによって観客にドラマ（人間の世界）の様々な事象の提示とその観察をさせるべきものとして発展してきた。そのオペラの歴史を、ヴィーラントは、むしろ人間の世界の様々な事象をもたらした世界の法則、世界を支えている何か原理なすものへの思考の場へと変化させ、ワーグナーのオペラに抽き出された神話の一情景を手がかりに、人間にとって神話（の本質）とは何かを考えさせる舞台を創出した。

ヴィーラントのこうした手法の背後には、第二次戦争中にナチスの政策宣伝に利用されたワーグナー作品からナチス＝ゲルマンの具体的世界を洗い落とす目的もあったと言われるが、それであれば尚更のこと、現実（の歴史状況）から現実の背後に存在する世界の原理へと観客の思考を導くべく考え出されたヴィーラントの抽象的舞台は効を奏したことになると言えるであろう。

ワーグナーのオペラはこうして古来より哲学者によって追求されて来た宇宙論に関与することになったのであり、この手法によって、たとえばジャン＝ピエール・ボネルといった演出家の手によってドビュッシー等の作品も人間の抽象的思考に結びつけて捉えられることになっ

（図２４）図５－１５－１：バッハ「フーガの技法」初版譜

（図２５）図５－１５－２：バッハ　現代譜に書き直したバッハの名前 Bach を組み込んだ作品例（図２４とあわせて２例）

た。ヒトの脳機能において聴覚に対する視覚の優位性が存在するとすれば、そのような優位性の故に、舞台の抽象化＝視覚の抽象的思考が音楽の響きの意味そのものを変化させ、ワーグナーのオペラの響きの中に宇宙の法則を認知し得るようにさせたヴィーラントの演出は高く評価される。視覚・聴覚上の具象→抽象がヒトの脳機能の、もしくは脳内における具象→抽象・高次概念化の働きと結びついたこれは典型的な一例である。いずれにせよ、形と音ないし色と音色との結びつきを内面に感じとることのできるヒトは芸術家に多いと言えよう。

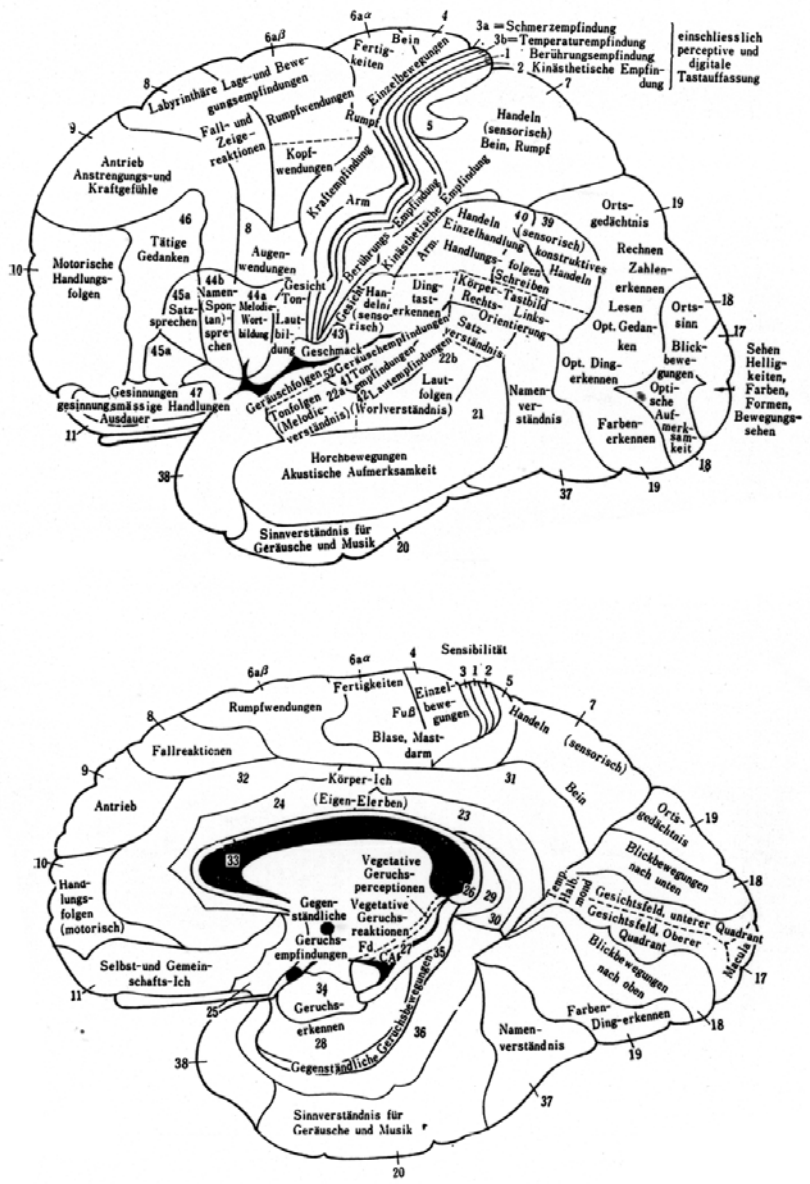
ヒト前頭葉の最前部が関わる精神機能

ここで前頭葉の機能について最近のヒトの画像解析研究を紹介しておくが、前頭葉内で領域が後方域、前方域、最前方域と前方に進むにつれて、認知記憶テストでより高次レベルの課題遂行に関連するという所見が得られている (Buckner, 2003, のミニレビューを参照)。しかし、ヒト前頭前野の最前部で行なわれる、おそらく最も高次の「精神」機能を実験研究の対象とすることは、現在なお困難な状況にある。この高次機能に関わる前頭極皮質域（frontal polar cortex、10 野）は前帯状回皮質 (24 野) からの投射を受けている。この前帯状回はヒトやチンパンジーにおいて、認知と情動の接点（インターフェイス）とみなされている皮質領域で、その第 5 層（Vb）には特異な形態を示す "spindle neuron" が認められるとして最近注目されている部位である [Nimchinsky et al., 1999; Vogt and Devinsky, 2000; Hayashi et al., 2001; Allman et al., 2001, 2002]。この領域 (24 野) は中古皮質ではなく、新皮質に属すると考えられており、能動的言語野（ブローカ野）を含む前頭葉背外側部と相互に関連して最高次の機能を発揮するものであろう。20 世紀初頭の先人たち [たとえば Kleist、1934] が前頭葉内に Antrieb, Anstrengungsgef?hl, T?tige Gedanken, Selbst-Ich などの精神機能を推定して、大脳皮質「精神」機能域なるものを作図 (Abb.431) していたことが思い出される（図２６）。

注]

甚だ恣意的で一面的ではあるが、類似的興味から絵画史と彫刻史から例が挙げてみる。絵画史として、フィレンツェ派やベネツィア派のルネサンス期にみられる伝説画や肖像画中心の時代から、長い年月を経てセザンヌに代表わされる自然印象派の具象･写生の手法が生まれ、ついで個性的な画家としてムンク、ゴッホ、ピカソなどが 19 世紀から 20 世紀前半に活躍し、点や線を主体とする単純形象を根源的に求めたジャコメッテー (Giacometti)、モンドリアン (Mondrian) に連続していることは指摘し得る。また、日本の彫刻史に例をとれば、古代の素朴な土偶・人形は将に単純型の世界で、白鳳期の百済観音、菩薩半迦思惟像があり、美しい協和音とメロディーの響きは薬師寺の薬師如来三尊と東塔の美しさに感じられ、ついで鎌倉時代の、運慶、湛慶、快慶のアレグロ・ビバーチェ的金剛力士像となって円熟し、ずっと降って明治時代となり､ロダンの影響を受けた碌山や光太郎を過ぎて抽象的な凝集した近代彫刻の世界が訪れる。遊戯のついでに万葉(人麻呂、赤人）→古今集（俊成）→新古今集（定家）→宗祇の連歌→芭蕉、蕪村の俳諧→アララギ（子規、茂吉）という日本歌文学の変遷も挙げてみる。感情の直接的表現、景象の見たままの表現という素朴な文学から、それを反省し、理智的に解釈するとともに、「もののあはれ」を肯定し、余情を楽しむという " 調 "、さらに幽玄・有心論が生まれる。このような　芸術至上主義を経て、自然への傾倒の精神が、西行、宗祇へと受け継がれて、芭蕉は自然の生命の中に自己を見い出した。それ以降、この自然主義の写実と内面的写実は、蕪村、子規の客観的なものとなっていった。

言うまでもなく、芸術・文学史の展開と脳内ニューロン活動にみられる諸要素間の関係を比較したりするのは、次元の異なる事象の比較論としても成立し得ず、滑稽でもあり、邪道である。重要なことは、然しながら、われわれ人間がこれまで築いて来た精神文化の創造と継続の開花は基本的に logos と pathos と環境（自然と人間）に働きかける能動的行為の際にみられるヒトの脳活動の産物に他ならず、その点からして再び、脳の活動と人間たるものの関係について新たな視座を拓くことである。



（図２６）図５－１５－３：クライストによって提唱された歴史的なヒト大脳皮質領域の機能区分（Kleist,1934）。

第６章　　音と光に関する考察

第６章　　閑けさや　（松尾芭蕉、1644-1694)
思索を込めた景と情の統一的表現。岩に巌を重ねて山とし、松栢年旧、土石老て苔滑に、岩上の院々扉を閉て、物の音きこえず。行雲流水、樹下石上の旅、「おくのほそ道」より。

ここで新たに項を立てて、本書の中心話題である聴覚、視覚の認知の脳内基盤について現在の知見をまとめておきたい。

認知機能は情動機能と共に高次神経活動を支える大きな要素である。ここでわれわれが考察の対象としている視覚機能と聴覚機能は、霊長類においてコミュニケーションの手段として著しく発達した系である。とくに言語を獲得したヒトにおいて、その精神機能は視覚と聴覚の系に大きく依存している。そのうち研究がより進んでいる視覚系に重点をおいてそれらの脳内機構について基礎的側面から比較検討を試みる。

まず、視聴覚と光＝波動＝振動の関係について、その基礎となる光と音の物理的性質について考える。

波動説・粒子説・光量子説

音については空気や水など媒質の波動によって伝播するという波動説が１７－１８世紀には定まっていたが、当時、光に関しては、光の粒子が網膜に光の感覚を与えるという１７世紀以来の「マクロの世界の法則」であるニュートンの「粒子説」が有力であった。これに対してホイヘンスは「光を微粒子の運動とみることによっては、光の伝播の速さや光線の交叉は説明できない」として、光の「波動説」を唱えた。爾来、粒子論者と波動論者との論争が続いた。

１９世紀に入り約３０年の間は、旧来のニュートンの粒子説が否定されて光をエーテルの運動の波とみるホイヘンスの波動説が復活した。１９世紀半ばを過ぎて、マクスウェルは電磁場の理論を展開し、「マクスウェルの方程式」の基本的な結論として、光速度で伝播する電磁波の存在を導きだし、光と電磁気を結びつけた。しかしこの立証は、アインシュタインの手によって、特殊相対性理論とブラウン運動の理論の発見と同じ年 (1905 年) に明らかにされた、もう１つの重要な理論、すなわち電子が原子の構造と密接に結びついているとして光の粒子性を基礎づけた、光電効果理論 / 光量子説の出現を俟たねばならなかった。すなわち、この２つの現象を説明してアインシュタインは「１個の光子は振動数が決まれば決まったエネルギーを持つので、１個の光子からエネルギーを受け取った電子は決まったエネルギー分布をする」と説いて光は波動であると同時に粒子であるという革命的概念を導入した。彼はこの光の２つの側面をプランク定数（h）によって結びつけた。すなわち、光波はその振動数 ν と波長 λ によって特徴づけられるが、プランク定数を用いて、振動数と波長からエネルギー ε や運動量 p のような力学量を導いた。その関係は $\varepsilon = h\nu$、$p = h/\lambda$ で表わされ、いずれもプランク定数（h）を含んでいる。

このように、量子の発見（1900）後に、古典物理学の概念がそのままでは微視的領域で成立しないことが明らかになった。次いで、光を含めてすべての物質は粒子性と波動性をもっているとするド・ブロイらの古典論と量子論との折衷である前期量子論の期間を経て、1925－26 年、「ミクロの世界の法則」である量子論あるいは量子力学がハイゼンベルクやシュレーディンガーらによって理論的に体系づけられた。すなわち量子論では、状態と観測量の概念が古典論とまったく異なり、これが量子論の論理構造の基礎となっている。大きさのない１個の粒子を考えるとき、その状態は、古典論ではその粒子の位置と速度によって表わされるが、量子論では粒子的性質と波動的性質とを同時に備えた波動関数で表わされる。

さて、音と光の項でその粒子性や波動性について行なった歴史的考察に関連して言えば、その量的概念や数的構造を準備したものは数学であった。二次方程式が解かれていたといわれる古代エジプトやメソポタミアの時代を入れると数学は天文学と並んで最も古い科学であるが、体系的な科学として確立されたのは、幾何学を中心としてピュタゴラス、ユークリッド、アルキメデスなどを輩出した古代ギリシア時代であろう。他の科学と異なる特徴として、数学は対象とするものを明らかに抽象化し、概念化する。ところで、サルでは５－７以上の数を扱う実験は成功しないと言われている。手指の数よりも大きい数のイメージを形成することのできる脳を持った動物にして初めて事象の抽象化 / 概念化が可能となるのであろう。抽象概念や言語の問題は別に論じられる。ところで、数学が自然を研究するための学問として力学や運動と結びついて発展を遂げたのは 17 世紀に入ってか

らであった。ガリレイ（1564-1642）の天文学、ニュートン（1642-1727）の力学が成功を収め、微積分が生まれた。その後数学はさらに大きな発展を遂げ、19 世紀に入り、フーリエ級数、集合論、確率論、群論など、さらに微分幾何学を経て非ユークリッド幾何学が誕生した。これに加えるに、3 次元ユークリッド空間を無限 N 次元に拡張したヒルベルト空間という概念を生んだ。これらの土壌の上に「相対性理論」や「量子論」が発展し、それらは数学的形式として表現されることができたのである。

見える世界と思索で捉えられる世界

われわれがここで対象とする光や音の認知、すなわち視覚と聴覚に関して、先に述べたような考察が、法則の適用限界を考えた場合、どの程度有効であるかは不明である。しかし少なくともローマ期に遡って光と視覚の関係について研究がなされてきたことが示すように、人間の感覚機能の中でも視覚への関心は人間にとってとくに高く、現在の脳科学における視聴覚の問題について考えるに当たって、同じく現在の物理学の成果を視野に納めておかなければならないであろう。

人間が人間の感覚機構について視覚に強い興味を示したのは、古来より人間の思想の歴史の中で、目に見える世界と思索によって捉えられる内的世界との対照性が存在したからであり、見えるものと、見えないながら思考において存在するものとが、各々人間の存在にとってどのような意味を持つのかが研究されてきたからであると言えよう。

それに対して聴覚に対する関心が低かったのは、実生活における視・聴の役割にもよるであろうが、ヨーロッパ系の文化を中心にみるとき、その中核にあって人間の思考形態・ものの見方を規定してきたのがギリシア文化であったからだとも言えるであろう。しばしば指摘されるように、ギリシア人は視覚的人間であり、一方の聴覚を代表わするのはユダヤ人であったからである。ユダヤ民族の思想をよく集約させている旧約聖書では聴くことが重要な役割を果しているが、ユダヤ教（旧約聖書）を継承したキリスト教でも同様に（神の）ことばを語りこれを聴くことは決定的に重要であったにもかかわらず、視覚における内的世界のようには内聴は問題にされなかった。

視覚と聴覚―思考と身体調整

とくにルネサンス以来、聴覚は人間の体調との関係上重要であるとされ、人間の心身を整えるために音楽が用いられるようになった。従って、今後の脳の科学においても、視覚は思考系との結びつきの中で、聴覚は体液の調整機構との結びつきの中で研究されていくのもひとつの有効な方法であると言えよう。無論、聴覚も思考系と深く結びつくものであることはこれまでの記述からも明らかであるが、それでもなお聴覚が情動 affectus に結びつくこと、またたとえば音楽を聴いているときに、聴覚を中心としながらも、人間の全身を包み込む響きと体感の関係も情動アフェクトゥスから体調に強く関与していくものであることは重要である。視覚の思考系がむしろ一点（視野）を中心とするのに対して、聴覚系は全身的であることも忘れてはならないポイントであろう。

またたしかに、人間の身体の感覚という点からすれば、胎児期には聴くことによって胎児は何かを捉えている。さらに、人間の歴史の長大な歴史を振り返るとき、ことばは何よりもまず話され聴かれることによってその役割を果していた。従って、このような状態にあるときに、視覚よりも聴覚が優位に働いていたことは間違いない。しかし言語のように、人間の精神機能と分かち難く結びついているものを問題にするとき、言語とは何か、という問いを立てることも可能ではあるが、それよりもむしろ「人間」をどのように捉えるかが重要になる。人間とは、どのようなことを行ない、どのようなことを考え、どのように他とのコミュニケーションを形成させているか、などを問うてみることである。

文字の発明、「響き」を書く

このように考えるとき、明らかに、人間は「人間」を追求し、問うことによって「人間」を形成してきた知の歴史への展望が有効な鍵を与えてくれることになる――無論、多様に発展する人間の社会形態の中で、文字を持たずに「歴史」や「思想」を語り伝えている社会も存在している。人間は文字を手にすることによって「人間」を伝達し、次の世代に伝えることを明確化させ、確実化させてきたのである。

文字は、記号としての形態のなかで「人間」を包み込んでいるのであり、単に話され、響かせられる場合よりも、比較にならないほど客観的に、多角的に、かつくり返しひとつの事柄について思考し、議論し、場合によっては他の言語に翻訳することによっていわば世界規模で、かつ幾世代にもわたって同一の事柄を伝えていくことができるようになった。

その意味で、文字は、別の言い方をするなら「響き」を書くことに成功して知の進化を著しく進展させたのである。ただし、くり返して言えば、その「ことば」は響

きを伴うことによって、原則として、はじめて意味を発揮する。と同時に、ヒトの脳の機能が高次神経系へと、とりわけて前頭前野の形成によってはじめてホモ・サピエンスにふさわしい高次の脳を得たのと同じように、ことばの、あるいはことばによる概念の高次化への進展ということも視野に入れておかねばなるまい。人間の聴覚において、ことばが響きとして捉えられるとき、ことばは一般的に、人間のより根源的な情動に結びついていればいるほど、響きの変化に富む。一体、人間は何種類の泣き声を持つのか、といったことを考えればこれは明らかであろう。それに反して、「宇宙」や「論理」や「理念」といった、本来、人間の情動を超えたものを包み込んでいることばは本質的に響きの変化を拒否する。同時に、音楽においても、情動的なもの、聴き手を動かすものから崇高なものへと、人間に何かを啓示するものへと高まりいくことによって、いわゆる「ゆらぎ」から脱却する。このことは実作品に即して証明することができるので、一例を次項に記してみる。

ミサの音楽

ルネサンス時代に、人間の知的活動の興味が言語に集中していったことは広く知られているし、またこの中でも指摘してきた。その「ことばの時代」に、以降の歴史の中で教会音楽の範とされることになったイタリアの作曲家パレストリーナの手によって、ミサ典礼文中のクレド章の 1 節、キリスト＝神の受肉（降誕）の神秘を告げる "et incarnatus est"（そして受肉され）の部分の作曲法がいわば完成された。音楽は本来時間の芸術であるにもかかわらず、ときに時間を超えたものの表現へと向かう。神の受肉という、人智を超えたもの、古代ギリシア人が、天が開かれ何かが啓示される永遠の「いま」（カイロス、κ α ι ρ ο？＝他世界・異なる時間の相、たとえば、天上の神との世界、の現実界、つまり人間の日常的世界への介入を表わすギリシア語）と呼んだ特殊な時間を表わすために、パレストリーナは彼の先人たちの手法を受け継ぎながらもそれよりも高次化して、純粋な三和音によってこの文章 "et incarnatus est" を響かせたのである。演奏するのに長い時間を要するミサの音楽の流れの中で、この部分にさしかかって音楽は一瞬静止する。その和音は完全に「ゆらぎ」を超えた透明な響きを形成し、聴くものに将にカイロスを告げるのである。ともあれ、人間は文字言語を手に入れ、かつ、その文字言語によって、ことばの歴史を徐々に高次化させ、概念化させ、やがて「哲学」という、これも将に「ゆらぎ」（情動を超えた思考の響き）を書き記すことに成功したのである。ギリシア以来の哲学の歴史の中で、哲学の中でもとくに「ロゴス」あるいは「イデア」という、先程のカイロスと同一な、人間の情動、もしくは生命の鼓動にゆり動かされている「人間」そのものを超えた、純粋・不動の形象についての概念に人間が集中し、「哲学の歴史」を形成させてきたことも、ことばの高次化とヒトの脳の高次化が一致したものであることを証明するであろう。

動物の脳は進化する

ヒトの脳は高次化への歩みを続けてきたばかりでなく、これからも歩み続けるであろう。勿論、人間は考え、これを話し、かつこれを文字化することもできれば、何か聴いたもの、ふと耳にしたものを取りあげ、これについて熟考し、これを文字に書き表わすこともできる。
その意味で、視覚と聴覚は同等に文字と結びついていると言えよう。が、いずれにもせよ、そのときに文字に結びついていることによって人間の知の高次化は達成されるのだということを忘れてはならないであろう。文字・楽譜といったものが記号である以上、記号という人間の文化現象において視覚の優位はゆるぎないであろう。もしもこれが逆転されるとすれば、それは人間が記号化し得ないもの（と言ってよいであろう）、何か原初的なものに対峙し、これに衝き動かされるときであろう。何か自然の崇高な景観に打たれるときに、あるいは神聖なるものに包まれるときに、人間は記号を超える。と言うよりも、記号という人間の知の世界から、彼方へと連れ去られる。そのとき、人間は恍惚とする。これを別の言でエクスタシー (ecstasy) と呼ぶが､エクスタシーとは本来、自己の「外に」（ex）「立っている」（sto）ことを意味している。

興味深いことに、この「外に立つこと」の最中に、ヒトの脳は多分、脳幹を中心として体感される低いレベルの外的刺激と、前頭前野を中心とした Fm θ 波との関連で捉えられるであろう、最高次の抽象概念を同時に認知する。また、構成上および機能上、聴覚と視覚の間には類似点があると同時に各々の特徴を明示する相違点が、原理的に存在し、かつまたその異同が今後の研究によってより明確化されることが予測される。

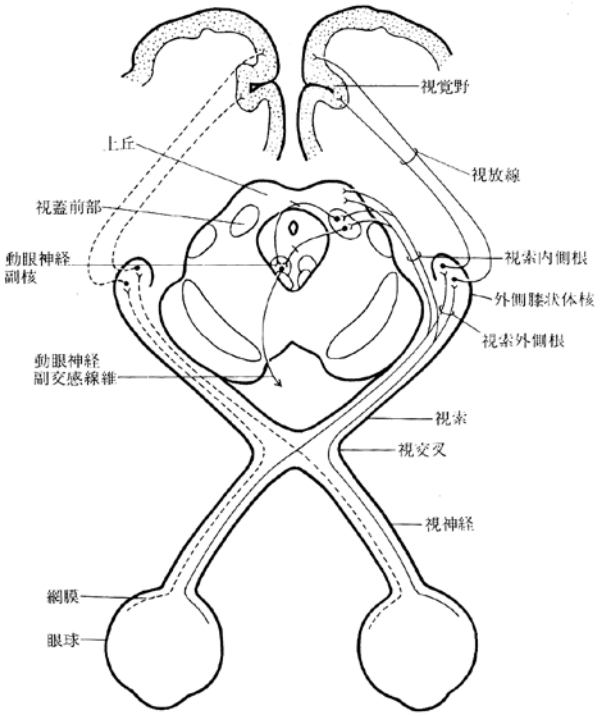
以下に脳科学の研究の結果明らかになった基礎的な事象について概略的ではあるが考察を試みる。大略、皮質下レベルの記述はネコの、皮質レベルの記述はサルの、言語機能関連の記述はヒトの研究結果を基にしている。

16 節　視覚について
$（図２７）

網膜

視覚性の感覚細胞を含む網膜は発生途上の間脳の一部が突出して生じた中枢神経組織で、脊椎動物ではそれを構成する細胞は共通しており、感覚細胞（視細胞、photoreceptor)、　水平細胞 (horizontal cell) 、双極細胞（bipolar cell)、アマクリン細胞（amacrin cell）および神経節細胞（ganglion cell）の５種類の細胞が整然とした層構造を形成している。

視細胞は網膜内で最初に光に反応して光刺激を神経の刺激、すなわち電気信号に変える働きを担当している。このように、光量子（フォトン）をとらえて膜電位応答を起こした光応答は、脳組織に属する網膜内の感覚細胞すなわち視細胞（桿体細胞 rod cell と錐体細胞 cone cell）から双極細胞、さらに神経節細胞へ至る経路によって伝えられ、視神経と呼ばれる神経節細胞の軸索を通って興奮が間脳の視床核の一つである外側膝状体（LGB）に伝えられる。この際、網膜内のこの縦方向のシナップス伝達の修飾が、外網状層内で視細胞と双極細胞との間に見られる水平細胞および内網状層内で双極細胞と神経節細胞との間に見られるアマクリン細胞を介して、横方向に結合する側方経路によって抑制性に行なわれている。



（図２７）図６－１６－１：視覚刺激伝導路の模式図 (新見、1976)

このように、視覚系では網膜という「神経回路網が圧縮された組織」内で或る程度まで高度に処理された情報を直接的に外側膝状体に送っていると思われる。この情報伝達方式は、聴覚系が脳幹内の幾つかの異なる段階で精度を高めながら処理された、いわば最終的な情報を内側膝状体（MGB）へ送っているのと比較して一見対照的である（後述、17 節)。

外側膝状体

外側膝状体への投射を行なう網膜の神経節細胞には以下の２つのタイプが見られる。

1. オン中心－オフ周辺型（ON center-OFF surround type, オン中心型)：受容野の中心部を光照射すると細胞は脱分極応答を示して興奮し、その周辺部に光をあてると抑制する領域がドーナツ状に配列されているのが認められる。
2. オフ中心－オン周辺型（OFF center-ON surround type, オフ中心型)：受容野の中心部を光照射すると細胞は過分極応答を示して抑制され、その周辺部に光をあてると興奮する。

これら２つのタイプは、ネコではＸ細胞（小型でサルのミジェット midget 細胞に対応する）とＹ細胞（大型でサルのパラソル parasol 細胞に対応する）に大別される。Ｘ細胞は色感受性を有し、静止像を高いコントラストで捉える。すなわち反応は持続的で静止刺激によく応じ、軸索は主として外側膝状体に向かう。Ｙ細胞は標的の動きを受容する働きがあり、反応は一過性で速く動く刺激によく応じ、軸索は主として上丘に向かう。受容野はＸ細胞より大きく、伝導速度もより速い。他にこのいずれにも分類されないＷ細胞と呼ばれるものもあり、その軸索は上丘と外側膝状体に向かう。

外側膝状体は６層構造の深層から捉えて１－２層から成る大細胞層（magnocellular layer）と３－６層から成る小細胞層（parvocellular layer）に分けられる。大細胞層はＹ細胞 / パラソル細胞からの入力を受け、小細胞はＸ細胞／ミジェット細胞からの入力を受ける。外側膝状体の１，４，６層の細胞は反対側の網膜鼻側からの入力を、また、２，３，５層の細胞は同側の網膜耳側からの入力を受ける。

この際、外側膝状体は網膜上での位置関係をそのまま保持した神経節細胞の軸索を受け取っている（網膜部位再現的構造、retinotopic organization)。外側膝状体の細胞の受容野も網膜における神経節細胞と同様、同心円状で拮抗する中心部と周辺部から成る。小細胞層の細胞の

性質は、受容野が小で色対立型、応答は持続性である。これに対して、大細胞層の細胞の受容野は大で広帯域型、応答は一過性で明暗コントラストに対する感度は高い。

なお、網膜からの出力は外側膝状体でシナプスを作った後、視放線（corona radiata）となって第一視覚皮質野 (V1) にいたる膝状体系（geniculate system）と、その他に、上丘、視床枕を経て主に V1 以外の視覚皮質（V2, V4, V3, MT など）に至る膝状体外系 (extrageniculate system) が存在する。また、上丘 (動物一般の名称としては視蓋) に向かうものは、網膜視蓋投射 (retinotectal projection) と呼ばれ、網膜内の神経節細胞の位置関係（topographic relation）を厳格に保ちつつ、つまり網膜上の像の形を保った状態で視蓋へ伝達されている。視蓋は下等な動物では主要な視覚中枢であるが、哺乳類では大脳皮質視覚野に移動している。なお、視蓋または上丘からの視覚情報は、さらに脳幹部（橋核、網様体、下オリーブ核など）、次いで小脳に伝えられる視覚運動性 (visuomotor) のものがある。

視覚皮質

次に視覚皮質について述べる。近年、第一視覚皮質野 (V1、17 野) に送られた情報の認知機構とその伝達について研究が進んだ [Mishkin, 1982; Mishkin and Ungerleider, 1982; Felleman and Van Essen, 1991, など] 。皮質内で視覚情報は少なくとも２つに分かれて処理される。すなわち、①　対象認知 (object perception) および②　空間認知 (space perception) という独立した機能である。前者は側頭連合野へ向かう流れ (ventral stream) で「見ているものが何であるか；what 」を知るために必要な情報、たとえば形や色を主に処理しており、物体視経路 (object vision pathway) と呼ばれ、後者は頭頂連合野へ向かう流れ (dorsal stream) で「見ているものの位置や動き；where 」を知るために必要な情報、たとえば対象の動きの方向や両眼視などを処理しており、空間視経路 (spatial vision pathway) と呼ばれている。

このように視皮質中枢では間脳から皮質に到達した情報の内容を選別・整理して処理している。対象認知系と空間認知系の分離の源は網膜の X 細胞および Y 細胞からの信号にある。すなわち、視皮質内では、①は X 細胞（網膜）→小細胞（LGB）の流れで色や明るさのコントラストに対する選択性を持つものが多く、 他方②は Y 細胞（網膜）→大細胞（LGB）の流れで対象の動きの情報を伝えるものが多い。網膜→外側膝状体→Ｖ 1 第 4 層までは大細胞経路と小細胞経路の２つ、Ｖ 1 第 2，3 層→ V2 まではブローブ－細い縞、インターブローブ－淡い縞、4B 層－太い縞の３つ、それ以後は、頭頂葉へ向かう背側経路と側頭葉へ向かう腹側経路の２つの神経路に区別される。すなわち、このような仕分けをＶ 1 野の別々の場所で処理していると考えられている。形態知覚は空間分解能が高く、一般心理学的に V4 野－ IT(inferior temporal) 野系に関与し、視覚的運動の知覚は時間的分解能が高く、MT(middle temporal) 野－ 7a 野系に関与するという考えに一致している。

V1 野のニューロンは、興奮性の有棘細胞 (spiny cell) と抑制性のスムース細胞（smooth cell）に大別され、有棘細胞は錐体細胞 (extrinsic 型) と星状細胞あるいは顆粒細胞 (intrinsic 型) に区別される。そしてこれらの細胞は光反応特性から、①単純型細胞 (simple cell)、②複雑型細胞 (complex cell)、③端点停止型細胞 (end-stop cell) の３つのタイプに分けられる。

V1 野を位置づける重要な機能は外側膝状体までの段階で分別されていた、左あるいは右の眼（網膜）由来か、大または小細胞由来か、オン中心型またはオフ中心型の細胞由来か、などの情報を統合していることである。そして、さらに言えば、これらの情報を処理した後に再びその内容によって V2 から先に情報をおのおの異なった領野に分配していることである。V1 野のニューロンは視覚刺激、たとえば図形の大きさ、長さ、傾き、運動方向、色、空間周波数などに対して何らかの選択反応性を持っている。すなわち、以下に示すような特徴的な特徴抽出性の構造と機能ドメイン（functional domain）が V1 野で存在することが判明されている。

i) 方位選択性（orientation selectivity）：視床皮質線維が終わる第 4 層の深部である 4 C 層以外の層にある細胞の多くは、丸いスポット光にはほとんど反応せず、ある特定の方向に傾いたスリット光に選択的に反応する性質を持ち、細胞の種類としては①単純型細胞、②複雑型細胞、③端点停止型細胞が知られている。単純型細胞では、刺激開始時に反応する ON-(受容野) 領域と刺激停止時に反応する OFF-(受容野) 領域が分離している。複雑型細胞は、受容野内の刺激に対して ON と OFF の両方の反応を引き起こす。端点停止型細胞あるいは従来の超複雑型細胞は、スリット光を長くすると反応が抑制され、受容野よりもずっと短いスリット刺激に強く反応する。

ii) 眼優位性コラム (ocular dominance column)
皮質内に見られる約 500 μ m の皮質表面に垂直方向に柱状配列をなして存在する細胞集団。このコラムの幅内に整然として並列的に終止する同側 LGB からの軸索が、

4C 層の細胞に右眼由来と左眼由来の情報を伝える。

iii）方位（傾き）選択性コラム (orientation column)
方位選択性 (orientation selectivity) 細胞のうち、同一方向性をとるスリット刺激に応じる細胞集団。皮質表面から深部に垂直方向に並んで柱状をなす。これらの円柱構造は共に生後の視覚体験、すなわち神経活動に基づいて学習的に構築されると考えられている。

以上のような特徴抽出性は、①特定の刺激特徴にチューニングした入力が視床皮質線維によって与えられること、② V1 野内の興奮性結合によって反応が増幅されること、③皮質内抑制性結合によって「浮き彫り現象」的に選択性が強化されること、によって形成される。

次に、V1 以外の視覚皮質区分域について述べる。

視覚系の反応選択性について、V 1 から視覚連合野に至る階層的な情報処理が行なわれているが、その特徴は情報の内容によって種々の情報が選別処理される点に求められるが、このような分割、分業化によって多情報の高速処理が可能となり、形（V2, V3)、動き（MT, MST)、色（V4）などの情報に対応して分化した領野が判明している。これらの高次視覚領野の働きにより、二次元映像を三次元的に認知し（立体化)、あるいは自己と他（視覚対象物）の運動を三次元的に識別し、また異なった照明条件下にあっても同一の色を同一のものとして恒常的に知覚することが可能になる。この他、視覚連合野には、顔細胞、パタン記憶細胞、連想記憶細胞など種々の特異な反応性を備えた細胞が存在する。とくにヒトでは視覚性言語関連領域が発達している。

i) V2 野 (18 野)：V1 から入力を受ける。ヒトでは月状溝と下後頭溝の後壁に沿って帯状に広がる領域である。チトクローム酸化酵素染色（CO 染色）をすると、ここに CO 縞構造（thick and thin stripe）が淡染する帯 (pale stripe) を挟んで認められる。この縞構造は網膜の神経節細胞（P α と P β）→ LGB の大および小細胞層→ V1 の第 4 層細胞→ V2 の太縞および細縞と、各々が、大および小細胞経路 (magnocellular & parvocellular または M & P stream) と結びついており、太縞には両眼視差選択性細胞が、細縞には色選択性細胞が、淡帯には色選択性のない方位選択性細胞が認められる [Hubel and Livingstone, 1987] 。
また、M経路はＭＴを経て頭頂葉に向かう背側経路になり、 P 経路は V4 を経て下側頭葉へ向かう腹側経路となる。前者は動き・視差など物体の運動や位置の情報を処理し、後者は形・色など物体の同定に関する情報を処理する。この説は、とくに形象抽出記憶細胞の存在など細かい点で批判を受けながらも、現在もなお視覚系認知の考え方の基礎になっている。

ii) MT(V5) 野（middle temporal area, 当初 STS と呼ばれた)：V 1 野から頭頂連合野への経路の一部として位置づけられる。サルの上側頭溝後壁に集まって存在する、動く視覚刺激に反応するニューロン（MT 細胞）で、V1 からの入力を直接受ける。MT 細胞は、90％以上が、その最適刺激の運動方向と向きに従ってコラム構造をとっている（運動方向性コラム、direction selectivity)。MT 野の細胞の 2/3 が両眼視差に選択性を示す。

iii) MST(medial superior temporal area) 野： MT 野に隣接し、上側頭溝後壁深部から底、前壁に広がる領域で、MT 野から入力を受ける。この領域には両眼視差選択性細胞に加えて奥行きの変化に選択性のある細胞もみられる。視覚情報を利用して行なう眼球や手指の運動の形成に関わっている。MT 野、MST 野ともに、運動方向選択性を示すニューロンを多く含むのが特徴で、運動方向の刺激は継時的に呈示されるので、時間的なズレや空間的なズレを補正する機構が存在するように思われる。

iv) PG 野（7 野）および頭頂間溝領域 (LIP 野、VIP 野など)PE 野 (5 野) ほか：サルの P G 野（ 7 野）はブロードマンの細胞構築分類によれば、頭頂間溝 (intraparietal sulcus, IPS) の腹側に位置する、下頭頂小葉に相当する (von Bonin, 1941)。しかし、ヒトの 7 野は IPS の背側に位置する、上頭頂小葉に区分される（Brodmann, 1909)。爾来、ヒトとサルとの間で、頭頂葉の領域的・機能的な相同性 (homology) については議論のあるところである。
私見を述べれば、サルの PG 野の腹側域の一部は、系統発生学的に言ってヒトの 40 野（縁上回)、39 野（角回）といった言語領域に分化発展する「原始的」な皮質と考えられる（川村、1977)。体性感覚と関わりを持ち、視覚刺激と体性感覚刺激の両方に反応するニューロンもサルの VIP 野に多く見い出されており [Duhamel et al., 1999] 、この領域の障害は空間視や視覚入力に依存する行動が阻害される（視覚性運動失行、optic ataxia)。ここで異種感覚の統合が行なわれ、網膜部位再現座標から空間座標への変換、すなわち網膜のどの位置が興奮した

かを示す座標系から自分自身の頭や体を基準とした空間座標への変換が行なわれる。頭頂葉の多数の細胞が視覚入力に反応し [Motter and Mountcastle, 1981] 、他にLIP 野には空間認知と共にサッケード（急速眼球運動）など眼球運動に関連して反応する細胞も多数存在する [Sakata et al., 1980, 1983 ; Shibutani et al., 1994] 。

また、奥行き方向での回転に反応する細胞や、固視させた指標の空間内の位置（注視ニューロン）や動く方向（トラッキングニューロン）によりインパルス発射頻度の異なる細胞なども見出されている [Hyvaerinen and Poranen、1974; Sakata et al., 1980, 1984] 。統合失調症者において、眼球運動の異常（注：視覚誘導性 visually guided サッケードに異常はないが、記憶誘導性 memory guided サッケードで潜時延長や測定過小 hypometria などの異常が認められる）や選択性注意の障害が注目されているが [大久保ら、2001 ; 松浦ら、2001] 、前頭葉（前頭前野）と共にこの頭頂葉（頭頂間溝とくにその中間部）における機能の研究は両域が連合線維により結びつけられていることから考えても実りある成果をもたらすものと考える。なお、PE 野（上頭頂小葉）は、関節間や皮膚との間の空間的位置や姿勢の変化（その組み合わせ）の刺激に対応して身体図式（body image）の形成に関係があると考えられている [Sakata et al., 1973] 。詳しくは泰羅による総説 (2002) を参照されたい。

v) V4 野：V4 野は V2 野の縞（stripes）領域から投射を受けるが、その投射の強弱には領域的均一性がなく、色選択性の定義や刺激の与え方などに差異も見られる他、ここに含まれる色選択性ニューロンの分布の割合も報告者により異なる（70%− 100%）、不均一な領域である。サルにおいて存在が明らかにされたこの領域は大脳半球外側面に局在し、背側後方で V3 野、V3A 野に、背側前方で MT 野に、腹側後方で V3 野腹側部に、腹側前方で TEO 野にそれぞれ隣接し、幾つかの脳溝にまたがって広い範囲を占めている。V4 野は下側頭皮質へ向かう腹側視覚経路の重要なステップとなる中継野で、ここから TEO 野、TE 野後部に出力線維を送っている。V4 野は色選択性 (color selectivity) の細胞が多く存在する、色の情報処理に関与する領域である [Zeki, 1974, 1980, 1983] が、色の情報処理のみではなく、形や図形パタンに選択性を持つニューロンも含まれる。

なお、ヒト脳におけるカラー・センターは腹側面皮質にみられ、サルの V4 野と必ずしも相同ではない。その位置は紡錘状回 (fusiform gyrus、次項の vi を参照) 内の副側溝（collateral sulcus）の外側皮質面に局在することが fMRI を用いて明らかにされている (McKeefry and Zeki, 1997, Fig. 9)。さらに視覚刺激のパタンや線分の向き、空間の周波数など、空間的な特徴に選択性を持つニューロンもサルで多く見い出されている [Desimone and Schein, 1987] 。これに加えて、V4 細胞の一部に、異なる照明の条件の下で見ても、同一物体はその色調を変えることなく、常に同一の色調の下に知覚されるという＜色恒常性、color constancy ＞と呼ばれる心理現象に対応する性質を持つものがあると言われている。

vi) IT（下側頭皮質、Inferotemporal cortex）野： 細胞構築学的には、後半部の TEO 野と、前半部の TE 野に区別される。それぞれが機能区分としての PIT 野と AIT 野（CIT 野を含む）に対応する。IT 野が損なわれたサルは、視力障害や視野欠損はないが図形弁別や物体認知が困難となる [Mishikin, 1982; 岩井、1984] 。IT 野への主な視覚情報の入力は V4 野からで、主な出力先は嗅周野、扁桃体、大脳基底核および前頭葉皮質である。
後述の視覚性物体認識に関与する腹側経路は V 1 野→ V2 野→ V4 野→ TEO 野→ TE 野と表せるが、TEO 野と TE 野では有効刺激図形の複雑さが異なる。すなわち、TEO 野には線分やスポット（点）といった簡潔な図形にも反応する細胞が幾らか複雑な図形に反応する細胞の中に混在しているが、TE 野の細胞の多くは複雑な図形特徴を抽出する反応を示している。

神経線維結合を見ると、TEO 野は MT 野、LIP 野などからの入力を受けて、TE 野に出力線維を与えている。その TE 野は主として V4 野と TEO 野からの入力を受けるが、その他に海馬旁回、嗅周野、嗅内野、前頭葉、頭頂葉極 (TG 野) からの入力もある。出力先は TG 野､嗅周野、前頭葉（12 野、45 野）、大脳基底核、扁桃体、それに TEO 野などである。このように TE 野は視覚系をはじめ多くの情報を統合して情動および認知記憶など多様な機能を果している。また、TE 野には幅 400 μ m のコラム構造の中に、似た図形に刺激選択性をもつ細胞が集まっていることが知られている [Fujita et al., 1992] 。特殊な細胞群としては、TE 野や上側頭溝周囲皮質に相貌認識に関与すると思われる顔細胞（face cell）あるいは顔選択性細胞（face-selective cell）と呼ばれるものが見い出されている [Perrett et al., 1982] 。

また、側頭葉下面で後頭葉に連続している内側後頭側頭回は、紡錘状回 (Gyrus fusiformis) の別称でもよく知られている視覚野の延長線上にある領域で、ここには色によって、または或る特定の種の形によって活性化されるなど機能が明確に特殊化されている多数の亜域が密

集している [Zeki, 1999]。最近、ヒトを用いた脳画像解析研究により、紡錘状回の働きは静止顔面像の特徴を情報処理して、個人の相貌を認知する領域に相当することが明らかにされた [Kanwisher et al., 1997; Farah and Aguirre, 1999; Haxby et al., 2000]。相貌認知は社会的コミュニケーションの基本となる大切な要素であるが、自閉症者においてはこの紡錘状回の活動が著しく低下していることが指摘されている [Schultz et al., 2000 ; Pierce et al., 2001]。なお、フィリップスらのグループは fMRI を用いて、22 野が含まれる上側頭回および上側頭溝周囲の皮質領域を中心に、健常者および精神異常者を対象に情動に対応する顔の表情変化の際に起こる神経活動の研究を行なっている [Phillips et al., 1997, 1999; Critchley et al. 2000; Surguladze et al., 2003]。これらの周辺域は視覚系および聴覚系の認知、情動の諸機能が存在する皮質部位に相当しており、社会において表情変化と情動表出に関するこの種の研究の今後の進展が期待される。

近年、相貌認知や社会性に関わる認知を含めて、これら上述の諸領域におけるニューロン活動の複雑性が明らかになり、単なる視覚弁別や認知の他に、たとえば注意状態による刺激対象の選択の問題（受容野内の刺激が「図」と「地」のいずれであるかによってニューロン活動が変化する：いわゆる図地分化 の問題 [Baylis and Driver, 2001] など）や、前頭葉や辺縁皮質と関連づけた想起や認知の研究が進んでいる（土井と藤田、2004、による総説を参照)。

霊長類の視覚領皮質

＄（図２８）

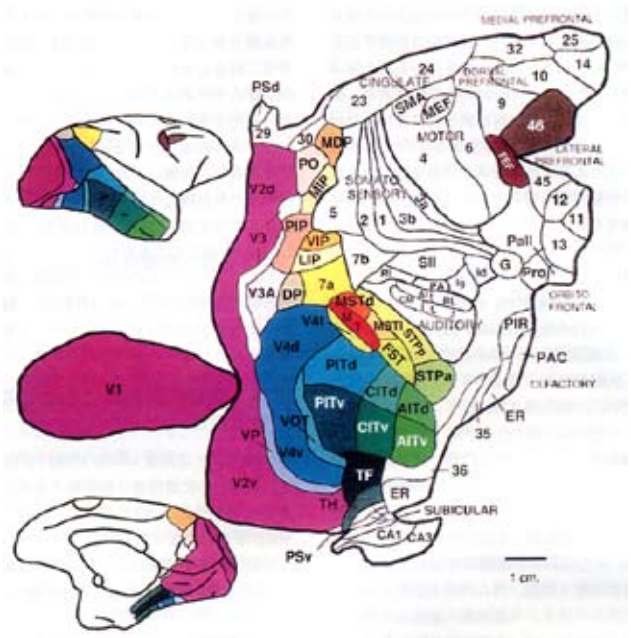
以上のように、視覚皮質領域は３０以上の機能的に異なった亜域に分かれており、それらは各々が形や色、動きや空間視などの処理に関係する異なる種類のニューロン群によって構成されており、視覚の異なった側面を担う並列かつ階層的な経路を形成していることが明らかになった [Felleman and Van Essen, 1991]（図２８）。ゼキ [Zeki, 1999] は最近出版した書物『Inner Vision, 脳は美をいかに感じるか』（2002, 河内訳）のなかで、従来視覚は受動的な過程とされてきたが、「今では、視覚は能動的過程とみなされており、脳は視覚世界の知識を探求する過程で、捨て、選択し、選択した情報を蓄積されている記録と比較することにより、脳の中に視覚像を生み出す」（邦訳 58 頁）と述べている。

17 節　聴覚について

聴覚受容器

ここで音が聞こえるという現象について考えてみる。外耳道底にある鼓膜を振動させた音の縦波は、鼓室内の耳小骨を、ついで骨迷路内の液体を振動させる。さらに、骨迷路内にある膜迷路の中の内リンパ液に伝わり、膜迷路（蝸牛）の有毛感覚細胞を刺激する。

水棲動物には、水の振動を知覚し液体の流れやそこに含まれる化学物質を感じとる側線とよばれる感覚器官がある。側線器は身体の側面だけでなく、頭部皮下にも複雑な管系を作っており、そこに有毛感覚細胞群が並んでいる。これによって、水圧、水流、低周波振動な



（図２８）図６－１６－２：サル大脳皮質視覚領を中心とした機能区分の構成を示す展開図（Fellman と Van Essen, 1991）（福田と佐藤、2002, 改変より）

注]：感覚と知覚についてのコメント（寺沢、1984, 参照）

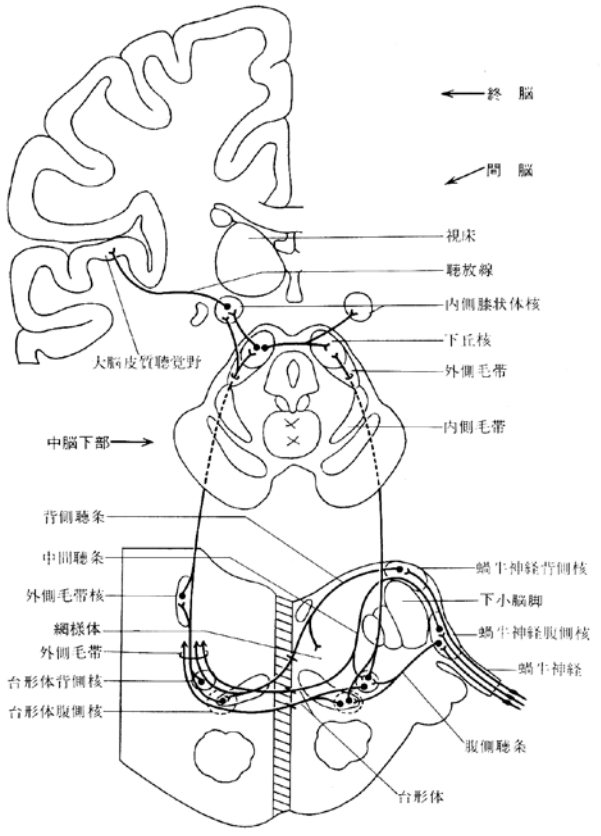
「感覚」には視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚、平衡感覚や運動感覚があり、感覚細胞で受容され、刺激の要素的な性質が反映される。これに対して、これらの感覚を基礎にしながら、もろもろの感覚を相互に孤立したものとしてではなく統合されたものとして、一つの事物または現象の諸性質として、すなわち一つの像として反映するものが「知覚」である。知覚の特徴は対象をまとまった一つの像として、つまり一つの全体的なものとして反映することであって、この点で個々の性質だけの、つまり要素的なものの反映である感覚と区別される。感覚（Empfindung, 独）と知覚（Wahrnehmung, 独）とはこのように区別される。しかしまた、本書でのように、叙述の性質上、必ずしも厳密に区別せずに、両者を一括して " 感覚（sensory, sensation, 英）" とよぶ場合もある。われわれ人間の感覚能力は、正常な状態のもとでは、対象の諸性質を同時に反映するために共同して働くように習慣づけられているので、感覚としてではなく知覚として働いている。

どが受容され、振動源の方向と距離が認知される。遠隔 (teleceptive) 受容器としての原始的なもので、第８脳神経が司る聴覚・振動を受容する感覚器官（いわゆる耳）は側線器が発展的に分化したものである。

聴覚伝導路の構成

哺乳動物の聴覚の伝導路についてみると、蝸牛殻の基底膜上の有毛感覚細胞が、音源から媒質内を伝わってくる振動を、その振動数（周波数）に不完全ながら応じて受容し、聴神経 (＝らせん神経節の突起) を通って興奮を脳内の蝸牛神経核→上オリーブ核→外側毛帯核→下丘へと周波数同調を次第に先鋭化させながら間脳の内側膝状体（MGB）に伝える。内側膝状体でシナプスを形成し、さらに興奮は視床皮質路を通り第一皮質聴覚野 (A1) に到達する。蝸牛内での周波数の場所表示（周波数軸）は、少なくとも A1 までは保存されている。聴覚系には末梢から中枢の A1 まで特定の周波数によく反応する部分が順序よく並んでいる。内耳における蝸牛基底膜上の周波数の場所表示はその基部が高周波音、先端部が低周波音に対応している。

延髄にある蝸牛神経核は前腹側核、後腹側核、背側核からなり、それぞれの亜核で低周波領域に関わるものは腹側に、高周波領域のそれは背側に位置する。これらの核は、各々の反応にみられる性質から判断して、前腹側核のニューロンは情報を高位の中枢に伝達するという単純な機能を持ち、背側核はより複雑な信号の分析に関与していると考えられている。



（図２９）図６－１７：聴覚刺激伝導路の模式図 (新見、1976)

哺乳動物の背側核は、大型の多極性細胞と小型の顆粒細胞が層状に配列されており、それらの発生起源も異なる [Ivanova and Yuasa, 1998] 。想像の域を超えるものではないが、双極性の末梢性聴神経細胞の中枢性神経突起（軸索）がシナプスするこの蝸牛神経核内の細胞は、網膜（内の）神経節細胞に相当すると考えられ、ここには視覚系の項で述べたと同様に、小型の X 細胞と大型の Y 細胞が存在することから、対象認知系 (what) と空間認知系 (where) の分離は既にこの X 細胞と Y 細胞からの信号発信に源があると推察される。将来、この面からの研究が進展した暁には、聴覚皮質連合機能系においても脳幹レベルから結びついた形で、小細胞経路と大細胞経路の２系が明らかになるように思われる。

上オリーブ複合体も幾つかの亜核に分けられているが、各亜核は各々に反応する周波数帯域が特定されている。すなわち外側核には高周波音によく反応するニューロンが多く、内側核には低周波音に反応するニューロンが多い。外側毛帯核も腹側核と背側核に分けられ、腹側核は音響驚愕反応に関与する。背側核は両側の下丘に線維を送っており、その多くは抑制性神経伝達物質 GABA を含んでいる。

下丘

聴覚伝導系では、これまで述べてきたように、各中継核で明らかな周波数局在 (tonotopic localization) が認められる。下丘は脳幹における最大の聴覚系細胞集団で、中心核、外核、周囲核に区分されるが、中でも中心核が最大で、聴覚認知系の伝導路の中継核になる。中心核では同一の周波数に同調するニューロンが面状に並び、配列は同心円状に層構造をなしている。下丘は、全体として、担当周波数の異なる共鳴素子が規則正しく並んだ周波数分析器と考えられ、低周波音に応ずるニューロンは背側に、高周波音に応ずるニューロンは腹側に位置している。また、中心核には抑制性神経伝達物質 GABA が含まれ、側方抑制機構が働いて応答野の狭小化に役立っている。つまり、或る周波数に大きな成分がある場合、その周辺に存在する小さな成分の効果は抑制された上で情報はさらに高位の中枢に送られる。このように中心核は周波数同調を先鋭化する構造となっている。因みに視覚系においても同様の側方抑制の仕組みはみられ、物の辺縁を際立たせて、形態視に役立っている。その他、下丘には特定の時間情報に反応するニューロンも存在するこ

とが知られている。

内側膝状体

内側膝状体は明瞭な層構造を示さず、その大部分は中等大の細胞からなり（腹側主部）、背内側部のみが大細胞性（大細胞部）である。入力を受ける内側膝状体の腹側核は下丘中心核からの同側性のものがほとんどであるが、一部外側毛帯核からの入力もある。腹側核のニューロンは周波数ごとの配列構造を示し、シナプスを介して第一聴覚皮質 (A1) へ軸索を送っている。周波数分析は下丘レベルで完成しており、次の内側膝状体の段階では、純音に対して、音の始まりにのみ反応する ON 反応や、終わりにのみ反応する OFF 反応や、両方で反応する ON-OFF 反応を示すニューロンがみられるようになる。内側膝状体ニューロンの示す応答野には先鋭な単峰性のものの他に、多峰性のものなど種々の特徴を示すものがみられ、下丘からの求心性の情報を受けて皮質域 A1 に中継されるに当たり、バラエティに富んだ応答をしている。すなわち、完成度の高い音の周波数分析をするニューロンの他に、情報要素を統合することに関係するニューロンも存在すると考えられている。

われわれの脳は、原理的にいって物の形を空間的に認知し、音の響きを時間的に認知する。それでは、この音の時間変化を認知する機構はどのようなものなのか。末梢レベルの蝸牛神経では音の時間パタンはニューロンの発火パタンの時間変化によって表わされるが、中枢レベルではこの時間パタンを統合したより高次の時間情報として抽出される。われわれは、音声や音楽の時間的に変化する音を聴いたとき、刻々と変化する響きの高さや強度、あるいは倍音などを追って、その時間パタンの違いによって音の持つ意味を知覚している。

ヒトは 20Hz － 20kHz の周波数 / 振動数の音声や楽音を可聴音として知覚するが、われわれが現実に耳にする音は､単一の周波数からなる､正弦波で表わされる「純音」ではなく、複数の純音からなる「複合音」である。複合音を複数の純音の成分に分解して調べることを周波数分析というが、内耳にある蝸牛殻基底膜の振動様式をみると、純音刺激で基底膜のかなり広い範囲が振動する。

最大振幅を示す位置は、高音のときは蝸牛殻内のアブミ骨側に近く、低音のときは殻頂側に近く、その並びは周波数にしたがって規則正しい。しかし、最大振幅点は特定の周波数にだけ共振するわけではなく、他の周波数の音に対しても小さな振幅をもって共振している。従って、内耳レベルでは周波数分析はなお未完成の状態にある。この点、視覚系では脳の一部として発生した網膜内の神経回路網によって情報処理された結果を、かなり高度な信号として外側膝状体に送っているのに対して、聴覚系では内側膝状体に信号が到達するまでに中脳以下の多くの神経核を通過し、その過程で情報処理がなされねば成らないという特徴を備えている。この情報伝達系にみられる差異は留意されるべきであろう。

微小電極法を用いて、聴覚系の単一ニューロン活動を調べ、それぞれの周波数における閾値を測定した結果、横軸に周波数を、縦軸に音圧（音の強さ）を二次元座標上にプロットして個々のニューロンの閾値曲線を作成した場合、この閾値曲線の内側に相当する音に各ニューロンは反応することになる。その反応範囲を各ニューロンの応答野という。いま、座標上に展開される応答野をみると、聴覚伝達系における上位の神経核ほど個々のニューロンの応答野が鋭くなり、下丘で聴覚ニューロンの応答周波数範囲が最も狭い。聴覚系の周波数分析はつまり下丘レベルで完成しているといわれるのである。

丸山 は無麻酔ネコ聴覚野で微小電極法を用いて音声を弁別する（仲間の鳴き声の聞き分け）機構について研究し、次のように考察している。すなわち､「視覚や聴覚など複雑な内容の知覚における神経機序に対して２つの考えがある。ひとつは或る知覚に対応する検知ニューロンが存在するというものであり、もうひとつは或る知覚には一群の細胞集団の空間的（または時間的）活動パタンが対応するというものである。実験結果から考えて、母音識別ニューロンは検知ニューロンに相当し、母音感受性ニューロンは後者に相当する。すなわち、２つの仕組みが共存することを示している」。ネコとヒトの間に音声弁別の仕組みや音声のスペクトルパタンに多くの共通性があることから考えて、音声弁別に関しても両者間には基本的に同様の性質が存在すると考えられる [丸山、1995]。

聴覚皮質

次に高等哺乳動物の聴覚皮質について述べる。サルの聴覚皮質で、メルツエニッヒとブリュッグが純音を用いて単一ニューロン記録またはユニット（活動電位）記録を最初に皮質聴覚領で報告して以来 [Merzenich and Brugge, 1973]、第一聴覚領 (A1) の周囲に機能的に性質の異なる数個の聴覚領野が存在することが見出された。前に第３章] で簡潔に触れたように（図６、図７参照)、現在では core 域（中核部）, belt 域（帯部）, parabelt 域（旁帯部）に区分され、さらに、core 域は A1; auditory core area, R; rostral area, RT; rostrotemporal area に、belt 域

は CL, ML, AL に、parabelt 域は STGc, CPB, RPB, STGr に細分されて、各領域間の結合や刺激の伝達についての研究も進んでいる [Hackett et al., 1998; Kaas and Hackett、1999; Kaas et al., 1999; Romanski et al., 1999] 。最近、端川 (2002) は総説の中でこれらの領域間および他の皮質連合野との間との関連について、サルの形態学的所見に基づいて考察を加えた。

すなわち、中核部は MGB 腹側核と結合し、帯部は MGB 背側核　と結合している。また、A1 は主に帯部の後方域に、R は主に帯部の前方域に連合線維を送っている。さらに帯部は中核部から線維を受け、旁帯部に線維を与え、旁帯部は前頭前野へ長連合線維を送っている。しかし、帯部から前頭前野への投射については確定されていない。これら聴覚関連皮質間の詳しい線維結合に関する知見についてはロマンスキーら（Romanski et al., 1999）の原著および端川論文（2002）の文献欄を参照されたい。また、参考までに記すならば、聴覚皮質域内の亜領域間の境界は視覚皮質に比べて一層不明瞭であり、そのためか細胞構築のみを指標としたのでは細かい領域区分を定めることが困難で、研究者間にかなりの相違がみられる [たとえば、Pandya and Sanides, 1973; Jones and Burton,1976; Jones et al., 1995] 。

ローシェッカーとチアンもまたこれらのサルの聴覚皮質区分域において種々のタイプの複合音を用いて反応応答性を調べた [Rauschecker and Tian , 2000]。とくに belt 域において仲間の鳴き声であるコミュニケーション音やいわゆる雑音・非線形音などに対する時間的統合について、また空間的位置の選択性について検討した。その結果、聴覚皮質内での機能的区分の存在を明らかにし、聴覚情報処理機構に関する総説を発表した。視覚系に比べて研究は遅れてはいるが、聴覚系においても多重な機能分化と階層的な体制が認められ、「空間」の情報に関わる背側経路 (spacial stream) と「対象」の情報に関わる腹側経路 (object stream) の２系統が存在することが明らかにされた。ごく最近、ヒトにおいても機能的脳画像法（ニューロイメージング）で調べた結果、同様の分業体制が存在することが強く示唆されるに至った [Zatorre et al., 2002] 。聴覚系認知においても、たとえば純音と複合音、協和音と不協和音、調性と転調、さらに時間的連続性として表わされるメロディー (旋律) など種々の性質をもったニューロンの群が限局した特定の皮質部位に集合し、おそらく同類同質の細胞が柱状に配列され、その結果機能的、形態的に独立した領野に区分されるという事実が、近い将来に証明されることが期待される。そうであれば、点や線分の認知、色の識別、運動方向選択性応答、形象の弁別と進行する視覚情報処理系 [Desimone et al., 1985; Baizer et al., 1991] の「階層性」の様相と同様の情報処理系が、聴覚系においても存在しているということになろう。

聴覚情報は視覚情報とどこがどのように違うか

しかし、このように生理学的分析の結果、視覚と聴覚との間にかなりの類似点を認め得る [川村、2002] にしても、これまでに指摘されてきたように視・聴覚間における刺激伝達の構成上の差異が存在することもまた明らかであり、また、聴覚情報は視覚情報と異なり、時間軸上に沿って複数の周波数成分が入力されてくるため、たとえば特定の、限られたコロム構造内の細胞集団によって或る機能がコードされ、定常的に処理されるとは考えにくい。このような動的に変化する複雑な音情報が処理されているときには、（会話や音楽を思いうかべてみれば分かるであろうが）、ダイナミックに対応する「機能的」なネットワーク（ニューロン間の結合）が、少なくとも局所的に形成されるように思われる。とくに聴覚領皮質については、音の順序など時間パタンを弁別 する学習が重要で、渋木グループは音の順序を記憶することに関する神経機構を仮定して、音の経時的組み合わせに特異的に反応するニューロンや順序依存性に増強するシナプスの発見や解析を行なっている。

このような皮質内の機構は、聴覚系に限られたものではないが、条件反射や学習・記憶の機構に深く関わるものであり、その素過程である長期増強（long-term potentiation; LTP）について調べてみると、聴覚領で観察される LTP は、視覚領でのものに比べて約２倍大きい。これは聴覚皮質ではその浅層内にある錐体細胞の軸索側枝によって互いに結ばれている水平方向の結合の密度が比較的に高いので、「反響回路」が形成されやすいからであろうと推察されている [Kudoh and Shibuki, 1997; Seki et al., 2001; 関ら、2001；工藤、2004]。

注

LTP：入力線維を高頻度で電気刺激することによって、単一電気刺激によって生じるシナプス後電位が高頻度刺激前に比べて長期にわたって増強する現象を言う。反対に、低下する現象を長期抑圧、long-term　depression、LTD と言う

「音と色彩との間の誤った類推」および「芸術を考えるにあたって物理的な考察が非常識な結論を導き出す危険性」についてのルソー [Rousseau, 1781] の警告を想い起こすまでもなく、視覚と聴覚の比較論に関しては慎重に考察されるべきである。なぜなら、視覚性の芸術（絵画）と聴覚性の芸術（音楽）の脳内処理過程を考える際に、両者の間に存在する共通性と差異を明確にしておかねばならないからである。少なくとも、表面的、あるいは一般的認識からすれば、一方は空間的、他方は時間的である。だが、人間の敏感な感性と脳の繊細な働きを考量するとき、果して「空間」とは何であり、「時間」とは何であるかが規定されなければならないのも事実である。既に検討されたように、絵画における色彩の光源は空間的でありかつ時間的であり、音楽の音波は時間的でありかつ空間的であるからである。今日の脳の科学に基づいて芸術ないし人間の創造活動を捉えるとき、２０世紀までの美学的定義の適用の可否に留意しつつ、時間・空間と人間の関わりについての新たな視座が確立されねばならないことは明らかである。ともあれ、美を探究する上での科学的研究は将来に俟たねばならないにせよ、視覚について論じたときに引用したゼキ [Zeki, 1999] の言葉を転じて借用すれば、聴覚系の認知機構について本質的に受動的過程であった聴覚の概念も聴覚脳について多くの事実がますます明らかになってくるにつれて能動的過程とみなされるべく展開されるように思われる。そしてこの過程こそが、脳の中に響きを創り出す新たな聴覚像を生み出す音楽家の精神活動それ自体なのである。

第７章　　ゲシュタルト 認識と脳の活動

第７章　　アテネ・アクロポリス

若い頃、ノルウェーの友達と日光浴しながら歩いていたら、「裸体は困ります。ここは神聖な処です」とポリス・マンに叱られた。「神の裸像は許されるのか」と抗議したら大爆笑となり、ペナルテーだけは免じて呉れた。

18 節　視覚のゲシュタルト

「科学の目」で考察する心理学

人間の身体、あるいは宇宙のように、何か形あるものは部分の集合であり、それも一定の法則ないし秩序に従って組み立てられた部分の集合である。つまり、何か在るものを構成する各部分が、各々の在るべき場 (Stelle) に正しく配置され（sto, stellen 立てる、置く、据える）全体として統一的に組み立てられたものが形態 (Gestalt ＝立て置かれたもの、ゲシュタルト) である。心理学ではそれは感覚されたものの総体であるとか、あるいは、感覚・認知・記憶の概念を「形態」とか「それを構成する部分の総和（集合体）以上のものである全体」とか一見「謎」めいたことを言う。無論、幾つかの単語を並べて構成されたひとつの文章が各単語相互間の作用・関係によって、しばしば、個々の単語それ自体の意味からは予想もつかないような或るイメージを形成することがあるから、全体は部分の総和以上のものとなることは事実である（図３０）。

（図３０）図７－18：（メモ：追加) 分割＝統一 (Kandinski, 1934)

しかし、最近の脳の科学の研究は、視覚系認識についても、さらには聴覚系認識についても、こうした文学的説明とは別に、その認識過程の具体的経路について、科学的データに基づいてかなりの説明が可能なところまで進展しているように思われる [Kim and Baxter, 2001]。たとえば、視覚的認識においては、上に詳しく検討されたように、物体からの反射光が網膜を刺激し、それが視床の外側膝状体に伝わり、ニューロンを代えて、大脳皮質の第一視覚野 (１７野、V1 野) に伝達される。つまり大脳皮質のこの領野での反応が感覚として認知される第一歩である。次に、18 野 , 19 野、37 野、・・・と後（頭）連合野内で伝達され、その過程で、点→線→丸や三角形などの単純な形→図形、風景、ヒトの顔などの複雑な形が再構成される。つまり網膜に映し出された形態は一度、これを形成する諸要素に分解され、再びそれが統合されることによってはじめて脳内においてゲシュタルトは成立するのであり、この分解と統合の課程においてゲシュタルトとして捉えられる。

ゲシュタルト再考 ― コンポジションとその形態的基盤

人間の脳は、ゲシュタルトの認知に際して、誰か或る人間、もしくは何か或るものが行なった、幾つもの部分を組み合わせる作業、つまりその各々の間に成立する相互関係が作り上げる意味を確認しつつ組み合わせ並置し、ひとつの全体＝ゲシュタルトないし「作品」を組み立てて構築する。そして､そこに成立するなんらかの「意味」を他者に伝えようとする創造作用を結果から原因へと、つまりゲシュタルトが表わしている「意味」から、その「意味」を構築する組み立ての作業へと、まさしく逆に辿る。そして、その上で改めて各部分・各要素を吟味し、これらの部分・要素を再統合して脳内における、内的ゲシュタルトとしてその意味を認知し了解することによって、ものの意味を知り得るように作り上げられている。

つまり､人間の脳は､受動的認知においても能動的「創造」作用を行なっているのである。ただし、この逆方向での能動作用、すなわち脳の認知の対象としてのいわば外的ゲシュタルトから脳における内的ゲシュタルトへの

移置（recreation）としての「第二の創造」作用と解されるものがある。しかし、これに先立つ他者の手による、外的ゲシュタルトとしての「作品」の創造である「第一の創造」の場合と同一のゲシュタルトを脳内に創造するものであるか否かには疑問が提出される。仮にそれが同一のものであるならば、たとえばひとつのゲシュタルト、ひとつの作品に対して多種多様な解釈＝ひとつのゲシュタルトを受容する各自の内的能動作用に多様な意味了解が生じたり、人間相互間の会話における誤解といったものは成立しえないはずである。また逆に、そこに多様な解釈（ゲシュタルトについての「読み」）や誤解が成立し得るところに、逆方向での創造作用を裏づける鍵が存在すると言えよう。

この逆方向での創造作用は、一般的には解釈と呼ばれることもあれば、その解釈を論理的・科学的に行って、たとえば宇宙というゲシュタルトを二様の方向から読み解いて、いわゆる観念的「宇宙観」（＝たとえば「宇宙」は神が創造したものであるとする判断）と素粒子論と相対（性）論を出発点とする現代の宇宙物理学による自然科学的「宇宙像」（たとえば宇宙の誕生の瞬間を存在の前提にする「ビッグバン理論」）といった二様の知の体系を形成させもする。いずれにせよ、人間の認識活動は日常生活のレベルから宇宙物理学のような高次な知的作業にまで及んで同一の働きをしていることは明らかであり、またそこに人間の存在（意識）と認識との深い関わりあいがあると言えよう。

人間はすなわち、自己に対するもの・環境の意味を、絶えずこれを構成する要素に分解し、改めてその要素を吟味しつつひとつのゲシュタルトへと再創造することによってその意味を捉え了解する。日常、しばしば何気なく使われる「知る」という言葉の背後にもこのような深い、かつヒトの脳機能と不可分の関係にある意味が隠されている。認識はすなわち創造以外の何ものでもない。音楽において創造作用の最先端に位置する「作曲」のことを composition というが、このコンポジション、つまり音ないし種々の点（存在）を、それらが在るべき場所 (position) に位置づけ、それらが全体 (com) としてひとつの形、ゲシュタルトを形成するべくまとめあげる作業こそ第一の創造と、また認識という第二の創造との、双方の創造をよく言い表わすものである。

しかも注意深く観察するならば、たとえば音楽作品＝音によるゲシュタルトをコンポジションされている音や、絵画という色のゲシュタルトを成している色彩は人間が作り出したものではなく、自然界に、それも太陽光線ないし宇宙の振動として存在し、人間に与えられている素材であることに気づく。人間は第一の創造においてさえ、与えられた素材のコンポジションによって何か或るゲシュタルトを形成しているのであり、このゲシュタルトをギリシア哲学以来人間は宇宙秩序を映し出す鏡であると言ってきた。従って、仮に第一のものであれ、人間の手による「創造」とはゲシュタルト化の働きであるということになろう。いずれにもせよ、こうして視覚という知覚作用における認知（認識）は深まっていくが、その形態的基盤は、その部位にある特殊に分化した神経細胞の反応を反映しつつ、いわば階層的に低次から高次へと質的発展を遂げつつ進行する認識過程に求められる。

画像ないしは図形の認知、その連続性の認識、つまり或ることを思い出したときに、その記憶に関連した別のことを思い出す現象である図形の連想作用も、側頭葉にある視覚性連合野のニューロンが機能の一端を担っているとして理解されている。すなわち、サルに図形を 2 個ずつ 12 組のペアにして学習させ、一方の図形を提示した後に、他方を思い出させて側頭葉ニューロンの活動状況を調べるという納家、宮下らの実験で、脳内情報の流れをニューロンの電気的反応から調べる作業が行なわれた。そこで彼らは、記銘時には視覚情報は側頭葉外側皮質から海馬を中心とする辺縁皮質に流れ、想起時には記銘時の逆方向、すなわち辺縁皮質から新皮質へと流れ、所要時間は約 4 倍要することを明らかにした。そして、時間の経過と共に側頭葉ニューロンの活動性が徐々に高まってくるという結果を得た [Naya et al., 2001]。

19 節　聴覚のゲシュタルト

聴覚系も「つながり」と「切れ目」を再構成する

画像ないしは図形認識のゲシュタルト構成はこのように、視覚系領域における、段階的に、ヒエラルキーを持って進行する脳機能の反映として捉えられるが、主たる脳内活動の場が聴覚領に置かれている、音を素材とする芸術である音楽のゲシュタルト機構をも同様にみなすことができよう。すなわち上記のように、視覚の場合にはそのヒエラルキー構造のなかでシナプスを超えて視覚性刺激が進行する経過の中で、第一視覚野で感覚された不連続な図形要素が空間的近接度を基準として、つながり（連続性）と切れ目（不連続性）を（再）構成し輪郭を構築し、また再編していくのと同様に、聴覚の場合には高低や強弱の差異に関わりなく時間的に隣接している音がつながり、音の流れ、すなわち旋律ないしなんらかの音形が形

成される。

たとえば、一つの楽曲は一つの形態あるいは構造を動や意欲を基盤にして駆動されることを示している。
また、事象関連電位（ERP）は、動物（ここではヒト）が精神作業を行なう際に生じる一過性の電位変動であり、視覚性探索過程を反映する ERP 成分としての視覚性（記憶）探索（陰性）電位についてはよく調べられている。すなわち、視覚性符号を用いた研究によって、それを反映する活動が視覚系の脳内経路と一致することから、人間の視覚系が外的視覚刺激の処理だけでなく、内的視覚表象の操作にも関与している可能性が示唆されている。また、聴覚刺激を用いた記憶探索課題においても、視覚刺激を用いたと同様な分布を示す探索陰性電位が報告されている [Okita, 1989]。このことから聴覚系においても、ヒトでは、外的並びに内的な聴覚表象の処理操作にも、この活動電位が関与していると思われる。

ゲシュタルトの形式の特徴

この章の冒頭で提起した、全体と部分に関する「謎」の問題について改めて整理してみよう。作曲ないし演奏とは、単なる音（素）を連続させることではなく、前記のように、本来、人間に対して外的に存在する自然現象に属する、自然の法則に組み込まれている音（素）をこれとは異なる何らかの別の法則（人間の思惟の運動・秩序など）によって「組み換え」、「組み合わせ」たものである。組み換えることは或る音（素）がそれ自体の存在性とは異なる存在性に移置されることを意味する。「総和以上のものである全体」とは、この「組み換え」られた新たな存在＝個としての全体およびその「全体」によってはじめてもたらされ得るいわば聴体験＝多様な内的ゲシュタルトの「形成」を指すと考えられる。個はたえず変化し、生成し、消滅しているが、互いに連関して他のものへと移行し、転化し全体を構成する。将に脳内活動の事象の連続性に照応していると言えよう。

もっとも、より高次なゲシュタルトの形成という視点からこの問題を捉えるならば、存在（性）の移置は、自然現象としての音の組み換え・組み合わせによって、人間個人の心象風景や思い出などの個人的領域を突き抜けたところに見い出される自然に内在する法則・秩序に深く関わるものであると言えるのであり、その意味で優れた「作品」は、この「作品」を形成している素材それ自体が属していた源泉への回帰をヒトの脳に促すことになると言えるであろう。

自然界の響きと調和

改めて言えば、人間は世界（環境＝宇宙）内存在（動物）であり、その根底に、おそらく無自覚的種の保存＝生命の維持の働きと結びついて、自己が所属する環境に順応しようとする働きを秘めている。そのために、音楽においても、音楽を通じて感得される宇宙の響き＝音（素材）の源泉へと、人間は思索を深めるのである。アメリカの建築家ルイス・カーンの言を借りて言えば、自然は本来芸術（人の技）を必要としないが、自然の生命、自然を形成している法則を人に伝えるために、またそれによって人々に自然の意味について教えるために人の技（芸術）を必要とする、ということになるであろう。

ここで言う芸術こそ、素材の他存在への移置における「他存在」に他ならない。言い換えれば、音楽に用いるものも、会話に用いるものも、いずれも音（素）は自然（界）に存在するものであり、それ自体は人間が創造したものではない。どの音（素）も、一定の周波数を持つ振動であり、かつまたその周波数は、これと比例する別個の周波数である、いわゆる倍音を共振させている。そうして、恐らくは、このような音（素）が無数に、相互関連性の中で共鳴し合いながら、自然界に存在する音は鳴り響いているはずである。しかしこの自然（界）の響き、自然の調和は人間の聴覚には、それ自体としては知覚され得ない。ただ人間はそれを、たとえばピュタゴラス（学派）のように、天空の調和・宇宙の交響として思索し得る（に過ぎない）。この自然の調和を別個の存在の体系に、つまり人間が知覚し得る、自然（界）の音（素）を用いて創造的に体系化された人間的音（素）の組み合わせ、つまり先に述べたコンポジションによって「音楽」に移置し提示したものがわれわれの呼ぶ、響く言語としての言葉などをも含めた音の芸術以外の何ものでもないのである。

このように見てくると、音楽は人間の感情を伝え表現わするものではなく、自然の法則を人間の知覚に伝えるものであると言えようし、その法則によって何か感情を衝き動かされ、いわゆる美を感じるのは、自然の景観を目にして美を感じる作用と同一である。自然の法則・秩序はすなわち感情そのものではない。とはいえ、それでは人間がそこになぜ「美」や「崇高」を感じるかはまた別個の問題であって、これを従来の美学や哲学のように、相互になんらの直接的関わりを持たない二つの事象とするか否かは今後の大きな課題である。

ハルモニア（α ρ μ ο ν ι α）

ピュタゴラス（派）によれば数比例の特色、重要な点は次のようなものとして捉え得る。まず一般に数比例とされるのはハルモニアα ρ μ ο ν ι αのことであり、ハルモニアには多様な意味が含まれることを注意せねばならない。基本的には、在る点 a と別の点 b の二点間を結んだ弦（長）の分割としてハルモニアは捉えられ、ab 間=1 を 2,3,4,…で分割した場合に、1:2、2:3 のように簡潔な比例による分割によってハルモニア＝調和した状態が形成されるのがその原理である。ab=1 として表示される基音に対して 2 分割した場合の弦（長）が響かせるのは基音の 1/2 ＝オクターヴの音である。こうしてハルモニアは二つの点、二つの存在の比例＝共鳴においてよく調和するもの、美しく共鳴するものを指すことになる故、ハルモニアは 2 音間の距離＝音程としても捉えられる。このように見た場合に、或る音と別の音との距離関係である音程の組合せによって形成される音楽（作品）は、そもそも音程そのものがつまりはハルモニア＝ A と B という二つの存在の共鳴＝ AB によって示される数比例化された秩序であるところから明らかなように、デミウルゴスと呼ばれる創造神の手によって、数比例に従って秩序づけられたコスモスの形態を映し出すものとして捉えられることになった。ピュタゴラス（派）によれば、ハルモニアは純粋な形としては宇宙の音楽として天体に響いているものであるから、実際には人間の感覚器官である聴覚には聴こえない。この天空の調和、天空のハルモニアを具体的に響かせるのが音楽（としてのハルモニア）であるということになる。ここに言う、具体的に響く音楽としてのハルモニアのうち、たとえば 2:3 による音は基音に対して（オクターヴ上の）5 度であるが、このハルモニア、つまりオクターヴ上の基音と 5 度は良く調和し、音程を表示する場合に用いられる数値では 702 セントになる。

20 節　ゲシュタルトの脳内基盤

感覚から運動への座標変換

プラトンもしくは彼に代表わされる古代ギリシアの哲学者たちは、美と法則は一つのものであると主張したが、この説はいつの日にか、脳機能の面から解き明かされるであろうか。なお先に記した腹側経路（ 8 節、坂上らによる研究参照）を軸とした、いわば「中間領域・インターフェイス」あるいはその中で脳による判断が下される「コギタチオ（cogitatio、熟慮）」とでも呼ぶべきものが、このような事例に関しても重要な鍵のひとつを握っていると思われる。知覚（入力）から運動（出力）への中間で外から入力され、脳内処理された情報を改めて検証し、適切と判断された情報を選択し、運動へと転換していく働きの中に、別言すれば感覚座標系から運動座標系へと変換される過程の中に、与えられた情報を対象化し、これを「見つめ」「検討して判断を下す」行為が隠されているからである。この判断が一般に言われる「思索」と同一のものと想定するならば、現実の種々な事象、でき事を総括的に捉え、その意味を検討し、さらにそこからより良い事象を描き出す「哲学」（次項参照）の道は腹側経路に在る、とさえ言えようか。

To go, or not to go, that is the question

ヒトの脳でも勿論のこと go/no-go 弁別応答（ 8 節参照）は行なわれる [Sasaki et al., 1993 ; Watanabe et al., 2002]。その際、サルにおける弁別対象としての色は、ヒトにおける環境からのあらゆる外的刺激に、すなわちヒトに対するあらゆる「対象」に等しいとみなすことができ、その対象の意味を、ヒトは腹側経路を中心として脳機能によって「見つめ」かつ「思索する」であろう。哲学的に敷衍することが許されるとすれば、ヒトは世界・宇宙と対しつつ、日々「go- 存在」を求め、これと鋭く対立する「no-go- 存在」とは何かを思索しつつ生きる生命体である、ということになろう。

人間は一個の生命（体）であり、生命の尊厳の遵守という作用が生きる個体の根底に強く浸透している。人間が正しく生きることの根底には何よりも生命の尊厳への畏敬の念がなければならない。生命の尊厳をないがしろにする「死」は「生命」としての「正しさ」に対立し、「生命」そのものを喰いつくす。

情動と思考の一体化（パトロゴス）

ヒトの脳機能からすれば腹側経路が重要な役割を演じて「見つめる」行為はなされるとはいえ、その際に、判断を下す参考材料として、生命の維持に深く関わる体調を整える上で大切な役割を果たす扁桃体／視床下部との連絡を計るべく神経網が形成されている。仮に或る情報が視覚からだけ入るものであった場合でさえ、視覚情報が一方では前頭前野の高次概念系に伝達され、また他方では心身の状態を司る扁桃体を含む大脳辺縁系へと伝わり、しかもその両者が同時に、かつ深く関連し合いながら脳の判断を促すことになる。何かを「見た」瞬間に身の毛のよだつような経験をしたり、逆に自然の景観にうたれて心身の蘇り＝リクリエーションを覚えることなどの事例がこの場合の参考になるであろう。また思春期に

体液の状態が変化することも、人間の思考力の向上と併せて検討してみる必要がある。

音楽の高次レベルでの演奏が可能になるのもこの時期以降であり、そうした点からすれば人間を「正しさ」へと導くべき教育のシステムにおいて、人間存在や表現法などに関する高次概念が学ばれる高等教育の場は、ヒトの生育の理に適っている。このようにみた場合、ヒトそのものが常にその全体が関連し作用しあっているひとつの全体であり、たとえば全身の脱力が完全に行なわれていない限り良い演奏はできないように、心身の全体が共働してはじめてひとつの行為をなすことができるのだと言わねばならないであろう。同様に、ヒトの脳の判断においても、先に見た言語の広領域活動性と同じく、判断の広領域活動性が考えられなければならないであろう。(なお、この問題に関しては 34 節、37 節、39 節に記述のリズム認知に関する「正しさ」をも参照されたい)。

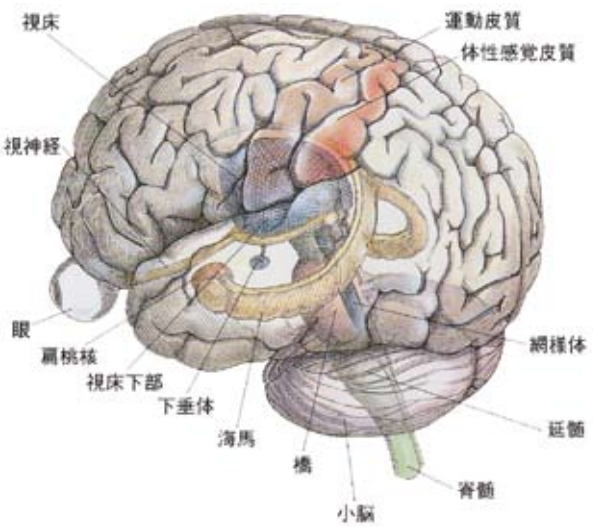
一方、既述のように脳内の流れとしてこのような「組み合わせ、コンポジション」は、視覚系においては、点→線→簡単なまとまり（三角、丸、四角）→それらが組み合わされた意味ある形象という風に複雑化されていく。同じように、聴覚系においても、純音→協和音→メロディー→音によるなんらかの表象＝いわゆる表現というように「総合化」されていく。この諸要素を融合へと導く過程（プロセス）は、第一視覚野 (V1, 1 7 野) や第一聴覚野 (A1, 42 野) における視素や音素のニューロン群が電気反応的に刻印されて (impregnated, characterized) 抽出される特徴づけないし「個（性)」を獲得した次元からスタートする。それがシナプスを形成し、ニューロンが変わるに従って、既述のように、階層性の高いレベルの要素の反応ニューロン群に発展する。

これらの後連合野内で生起するプロセスは電気生理学的に活動電位の測定や波形分析などで解明される。もっともこのプロセスは充分には証明されていない。にもかかわらずロジカルに考察してみて、確かな現象として知られている。これらの抽出された「個（性)」はあるいは連続し、あるいは断絶して、肯定と否定と統合を繰り返して、ゲシュタルトの世界が具象化される。このいわば感覚要素（的）ヒエラルキーの上行系 (ascending system) の中に扁桃体、海馬を主とする大脳辺縁系の活動であるパトス（情動）と、新皮質内の言語野の活動産物であるロゴス（言葉､思考）が一体化されることによって、すなわち、皮質・皮質間線維により相互にニューロン活動が影響し合うことによって、さらに内容が深められ、その結果 パトス とロゴス が相互的に滲透した、新たな統合である パトロゴスの状態が作り出されていく (2 節、参照)。ただし、このパトロゴスの関与の主題は後述（次章参照）されるので、ひとまず、傍らにこれを置くことにする。

第８章　情動発現の脳内機構－新皮質と辺縁系

第８章　Falstaff、1893 年 2 月 9 日 スカラ座 初演、(Giuseppe Verdi, 1813-1901)、
世の中すべて道化じゃ、道化こそ天賦の才、愉しみを知るものこそ賢人の技（わざ）。

21 節　海馬と扁桃体－情動・記憶
＄（図３１）



（図３１）図８－２１－１：海馬と扁桃体（肉眼）（ブルーム著、中村、久保田監訳：脳の探求、2004, 講談社、より）。

嗅覚、てんかん、記憶―未知なる皮質の原型

情動機能と認知機能はともに、脳の高次神経の活動を担う諸要素の中でも主要な二大機能を成している。われわれの脳は、外部環境および内部環境に関する情報のなかから生体にとって意味のある情報を認知し、過去の体験や記憶情報と照合して、その事象が自分にとってどのような意味を持つのか、すなわち外界からの刺激によってもたらされる情報が報酬性（益､快情動）か嫌悪性（害、不快情動）かを判断している。記憶や情動は海馬や扁桃体を主たる構成領域成分とする大脳辺縁系の機能と密接に関係している。

海馬（hippocampus、ギリシア神話上の動物）はアンモン角（Cornu Ammonis, エジプトの神）とも呼称され、原始皮質 (archicortex) と呼ばれる系統発生的に古い皮質に属している。ヒトでは側脳室下角の床部に沿って前方･内方に折り込まれた形に入りこんでおり、内側壁の大部分を占める。細胞構築学的には、表層から深層（脳室面）へと順に、（外）叢状叢、錐体細胞層、多形細胞層の３層構造から構成されている。それぞれ新皮質の４，５，６層に相当するとされている。一般に叢状層に求心性線維が入り、錐体細胞層および多形細胞層から遠心性線維が出ている。髄鞘構築学的にはより複雑な外観を呈する。すなわち、側脳室の方から順に、脳室上衣層、海馬白板、上昇（行）層または内叢状層、錐体細胞層、放射（線）状層、網状層、分子層または外叢状層、内髄層または帯状層に分けられる。

組織学的に歯状回は、表層から深層へ、辺縁層、分子層、顆粒層、多形細胞層または錐体細胞層と区分された明瞭な層構造を呈しており、この錐体細胞層は海馬の CA4 の同名の層に移行している。他方、海馬旁回は皮質の幅も広くなり層的分化も進み６層構造を呈するが古い皮質に属し、その４－５層は海馬の CA1 の錐体細胞層 (Lorente de N o, 1934）に連続している。なお、嗅内野は梨状葉皮質の後部の大部をつくりあげている。

組織構造および神経回路については他書 [たとえば、川村と小野、1987；石塚、2002] を参照されたい。海馬は終脳の蓋板に続く半球内側面の部分が翼板の肥厚によって発生の早い時期に形成される大脳皮質の一部である。哺乳動物の海馬は、発生初期には脳梁の腹側に位置しており、脳梁が背尾方に発達してくるに従い同伴して次第に発達し、尾方では脳梁膨大の腹側で狭い小帯回となる。さらに腹側前方に進んで数珠玉を並べたような外観を呈する歯状回となり、また側脳室内に足を突出した形の海馬足（内部の構造が固有の海馬あるいはアンモン角といわれる部分である）を形成する。

注]：　解剖学名（ラテン語）を参考に。
海馬：　①脳室上衣層 str. ependymale、②海馬白板 alveus hippocampi、③上昇（行）層 str. oriens または内叢状層 internal plexiform layer、④錐体細胞層 str. pyramidale, ⑤放射（線）状層 str. Radiatum、⑥網状層 str. reticulare s. lacunosum、⑦分子層 str. moleculare または外叢状層 external plexiform layer、⑧内髄層 str. medullare involuta または帯状層 str. zonale。
歯状回：　①辺縁層 str. marginale, ②分子層 str. moleculare, ③顆粒層 str. granulosum, ④多形細胞層または錐体細胞層 str.pyramidale。

海馬の構造と機能

海馬は嗅脳に属するとして、サカナやカエルのレベルでは嗅覚との関連がしばしば強調されるが、少なくともヒトの海馬は、嗅覚機能にとって大きな役割を演じるものではない [Brodal,1947]。嗅脳（rhinencephalon）という術語は不幸なことにいつも同じ意味で用いられている訳ではない。系統発生学的研究を基礎にして、嗅脳は通常外套部の原始皮質（または古皮質）と旧皮質および中隔野、嗅結節、嗅索、嗅球など終脳基底域の部分を一括とする。その上この術語は生理学的意味を言外に含んでいる。魚類と両生類では、終脳の主体は嗅覚インパルスを外套部（pallial part）に伝える求心性線維であり、哺乳類にみられるような皮質様構造の特徴を示していない。

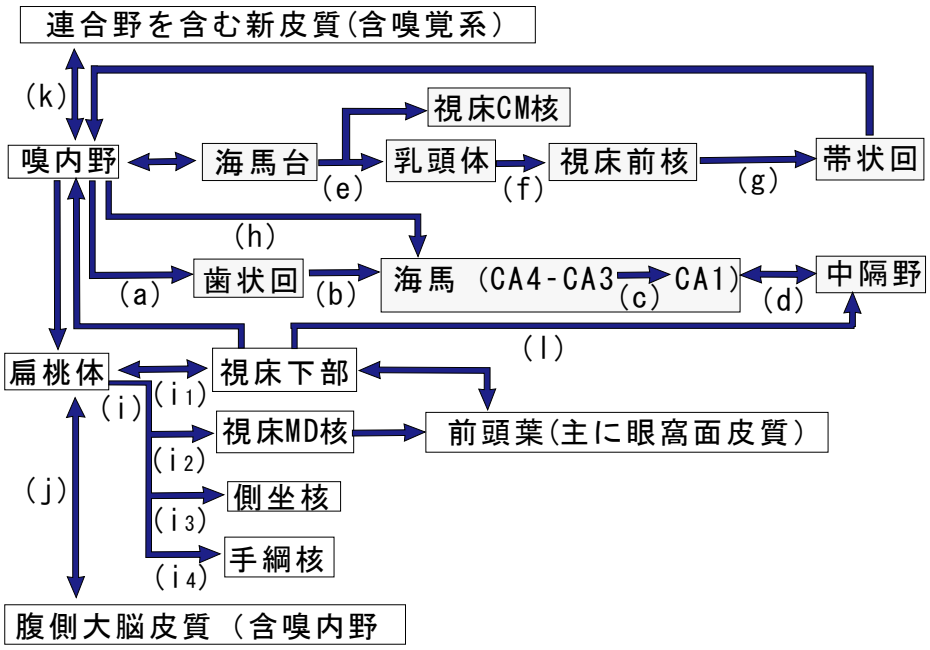
比較解剖学的には、両生類の外套部（pallium）は、内側部（archicortex、原始皮質、海馬の原基）、外側部（paleocortex 、梨状葉皮質）、中央部（neocortex、新皮質の背側皮質）の３つに区別される。爬虫類では、皮質構造はなお原始型であるが３区分は一層はっきりする。哺乳類では背側皮質が著明に発達し、嗅覚性インパルスの分布は大方 paleocortex と archicortex に限局されるようになるが、その発達・分化は下等哺乳類どまりで、高等哺乳類でさらに発達することはない。下等動物において第一に嗅覚に関係するとみなされる脳の paleocortex と archicortex の部分は、哺乳類そしてとくに高等哺乳類において他の重要な機能に取って代わっている。

Archicortex にはヒダが形成され､海馬溝の発達により、海馬として側脳室の内側壁の中に突出する。新皮質の発達の結果、paleocortex, archicortex は内方に押しやられ、ヒトでは大脳半球の内側面にみられる。半球皮質の後頭極が発達すると、paleocortex と archicortex は後方に引かれ、その後、側頭葉の発達にともない再び前方、腹方に引かれる。その結果ヒトを含む哺乳類の archicortex と paleocortex は、環状構造を示す。 archicortex は、海馬と歯状回によって代表わされるが、この構造は、この環状の線 line の全長にわたってみられる筈である。しかし、両半球新皮質間を結ぶ脳梁の発達によって、この位置にある archicortex の部分は著しく縮小し、脳梁灰白質 (induseum griseum) と呼ばれる構造として残り痕跡的である。脳梁膝の腹側にある終板旁回は海馬の最前部とみなされている。paleopallium は哺乳類で後方に向かって発達し、梨状葉を形成するが、ヒトでは海馬旁回の大部分がこれに相当する。帯状皮質は旧皮質（paleocortex）と新皮質（neocortex）の移行皮質と考えられている。上述の発生学的記載は模式図的ではあるが、哺乳類やヒトでみられる、長いカーブをえがく脳弓や分界条のような奇妙な線維結合の像を説明するのに役立つであろう。

このように、海馬は後方に発達し、それに伴って前方部は退化している。海馬はその発生初期から乳頭体と一部で結合しているが、新皮質の発達に伴ってこの結合部分の内に割って入った形で脳梁が膨大化し後方に発達するため、この結合も伸張されて脳弓とよばれるアーチが形成される。海馬は短期記憶 [Scoville and Milner, 1957; Zola-Morgan and Squire, 1986] や外界との関係で場所を認知する [Morris et al., 1982; O'Keefe and Nadel, 1978] 機能をもつ領域として注目されてきたが、最近の研究では場所細胞（place cell）の活動は直前のエピソード（短期記憶）に関わる認知機能が反映される学習機能にも関係することが明らかにされている [中沢、2002、参照]。なお、このような記憶に関する海馬の役割については、後述（本 21 節－利根川グループ、α -CaMKII、および 33 節－リベイロ（Ribeiro）グループ、zif-268 参照）されるように、分子、遺伝子レベルでの研究が進んでいる。

扁桃体の八面六臂の働き

一方、哺乳動物の扁桃体（組織学的には扁桃核という）は、尾状核や被殻と同様に、半球胞の腹側壁が側脳室の内腔に隆起状に発達する神経節丘（ganglionic eminence）の最内側部と間脳との間の限局された神経上皮から生じる（マウスでは胎生 13 － 14 日頃）[湯浅と八木、1998]。側頭葉が形成されるにつれて神経節丘の腹側が前方に移動し、側脳室下角の前端の前上部に扁桃体が位置するようになる。ヒトの扁桃体は側頭葉前部の海馬旁回鈎（海馬旁回の前端が後外側に曲がった部分）のすぐ下にみられる。一般に扁桃体と海馬は「関係が深い」と考えられているが、発生の過程を調べてみると、たまたま最終的に定着した位置が比較的接近しているに過ぎず、両者は互いに独立分離して発達した構造物である。ところで扁桃核は内側核、外側核、基底外側核、中心核､皮質核などの幾つかの亜域（亜核）に分かれている。比較解剖学的にみて、嗅覚との関連で発達してきたと考えられている扁桃体（およびその周辺皮質部）の亜核間の関係が高等動物になるにつれて、より複雑になっていることは興味深い。動物種間の相違はあるが、扁桃体は、皮質内側核群と基底外側核群とに大別される。基底外側核群（基底核と外側核）は動物が高等化するにつれて発達し、ヒトで顕著である。一方、皮質内側核群（内側核、中心核および皮質核）は逆にヒトの場合に発達状況は悪い。なお、鳥類以下の原始線条体（または旧線条体）は哺乳類の扁桃体に相同とされている。



(図３２) 図８－２１－２：大脳辺縁系の俯瞰図と興奮の流れを示す。説明は本文に（川村と小野、１９８７、改変)。

大脳皮質との関係をみると、ネコやサルの所見から腹側側頭皮質、前頭葉眼窩面皮質、帯状回から嗅内野 (entorhinal, 28 野) や嗅周野 (perirhinal, 35 野) への投射（注 : これは両方向性である)、さらに 28 野と 35 野から海馬歯状回への貫通線維の投射が明らかにされている [Goldman-Rakic et al., 1984]。また、眼窩面皮質および嗅内野を含む側頭葉皮質と扁桃体との間には、各々直接の相互結合がみられる。種々の感覚性刺激の海馬への入力は嗅内野など海馬周辺皮質を介してみられるが、扁桃体への入力は間脳、中脳の幾つかの神経核（視床諸亜核、視床下部の腹内側核、黒質、縫線核など）や脳幹内の結合腕旁核、青斑核などからの直接の投射が存在する。海馬と扁桃体は発生学的にも機能的にも異なる構造物であるが、この両構造物間の線維連絡は、少なくともサルの段階で明らかに存在する [Aggleton, 1986] 。大略、扁桃体の外側核・副基底核からは嗅内野へ、基底核・副基底核からは CA1/CA3 へ投射がみられ、逆に海馬台・CA 1 からは扁桃体の基底核・皮質核に、嗅内野からは扁桃体の基底核・外側核への投射が存在する [Amaral et al., 1992; Fig.6 を参照]。現在なお、連合野を含む大脳皮質や海馬・扁桃体の特定領域および視床下部諸亜核との間の連絡を究明すべく多くの研究がなされている [LeDoux,1998; Aggleton, 2000; 松本と小野、2002]。

大脳辺縁系の俯瞰と神経連絡

海馬体（海馬・歯状回・海馬台の総称、hippocampal formation）・扁桃体・視床下部（当然乳頭体も含む）・中隔野・嗅内野など（固有辺縁系領野 limbic structures proper）の間の結合関係、さらには、大脳基底核、視床核の一部、中脳辺縁系野・側頭葉極部など（旁辺縁系領域 paralimbic areas）まで含めた神経連絡路は複雑である。研究方法による所見の相違や動物種間の差などを遂一考察してまとめあげることは困難である。小異を捨てて重要な点に注目して要述的にまとめてみたい。以下に、大脳辺縁系についての鳥瞰図を示し短い説明を付けておく（図３２)。

（ａ)：嗅内野（皮質の２層と３層に神経線維の叢がある。詳しくは、細胞構築学的にも線維結合の上からも、内側部－ 28a 野－と外側部－ 28b 野－とに分けられる）からの内側および外側貫通線維 perforant path。海馬台を通り抜けて海馬溝を越えるのでこの名がある。主要なものは歯状回の顆粒細胞の尖端樹状突起が存在する分子層の外層（外側貫通線維）と中層（内側貫通線維）に終わる。exteroceptive の情報を運ぶ。なお、内層には対側歯状回からの交連線維が終わる（海馬采からの線維とともに海馬交連として入る)。

（ｂ)：歯状回の顆粒細胞から起こり CA4,CA3 の錐体細胞の樹状突起に終わる苔状線維とよばれる線維。

（ｃ)：CA3 と（おそらく）CA4（歯状回の hilus 域）の大型錐体細胞の神経突起の分枝が CA1 の小型錐体細胞の樹状突起（網状層）に終わる。Schaffer 線維という。

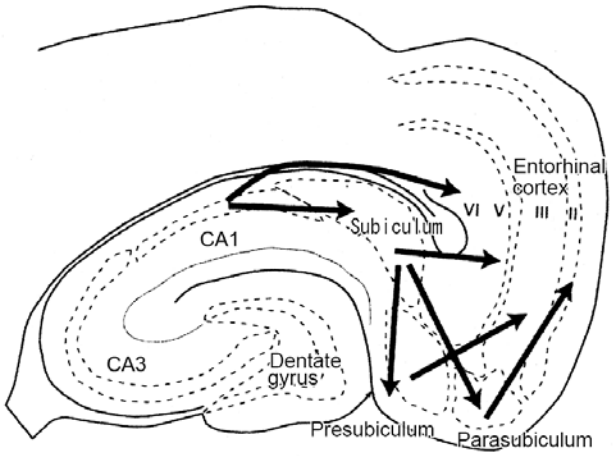
（ｄ)：主として CA3 よりおこり中隔の外側核に終わる。なお、中隔・海馬路はコリン作働性線維を多く含み内側核から起こり海馬内の広範囲の領域（上行層）に終わる。interoceptive の情報を運ぶ。

（ｅ)：いわゆる海馬乳頭体路で海馬台から起こり脳弓を通って乳頭体外側部に終わる。アンモン角（固有の海馬）

からの投射はない。
（ｆ）：Vicq d'Azyr 束ともよばれ乳頭体の主として内側部から起こる。細かく言えば、視床前核は乳頭体の内側核から同側性に、外側核から両側性に線維を受けている。
（ｇ）：視床前核群（とくに AM 核、AV 核）から帯状回皮質への投射には部位局在の関係が存在する。
（ｈ）：嗅内野および（おそらく）海馬台から白板線維（alveus）として海馬（主として CAl）に終わる。貫通線維の一部も終わる。標的はバスケット細胞と（おそらく）錐体細胞の基底樹状突起。
（ｉ）：扁桃体からの皮質遠心性投射（発生的に古い皮質内側核群との結合が強い）。
（ｉ 1）:分界条 (stria terminalis) および内側前脳束 (medial forebrain bundle) を通る。視床下部腹内側核（VMH）に多く、また外側核（LH）にも終わる（他に視索前野、分界条床核にも終わる）。視床下部扁桃体投射は、主として皮質内側核群に終わる。
（ｉ 2）：下視床脚 (inferior thalamic peduncle) を通り、MD 核の発生的に古い部分である内側部（大細胞性領域）に投射する。この投射域は嗅覚野が存在する眼窩面皮質との結びつきが強い。
（ｉ 3）：連合縦束 (longitudinal association bundle) を通る。一部が尾状核腹側部、中隔核にも終わるが主たる終止域は側坐核である。なお、側坐核は黒質内側部および中脳腹側被蓋域からドーパミン含有線維を受けており、被殻腹側部を介して中脳網様体の腹内側部へ、線条体からの線維とともに投射している。
（ｉ 4）：下視床脚を通る弱い投射である。なお、手綱核は視床髄条を介して中隔核、視床前核、外側視床下部域、対角帯核、外側視索前野からの神経線維を受けている。また反屈束（手綱脚間路）を介して中脳の脚間核へ線維を送る。
（ｊ）：扁桃体－大脳皮質間結合（発生的に新しい基底外側核との結合が強い）。側頭葉前部、前頭葉眼窩面皮質、帯状回と相互に結合する。
（ｋ）：（ｊ）と同様な領域との相互結合の他に比較的広範囲の新皮質領域からも嗅内野への投射がみられる。前頭葉からの線維のうちかなりのものが帯状束内を通路とする。
（ｌ）：弱い結合が、おそらく存在する。
この３２図から読みとれるように、大脳辺縁系を、①海馬台－乳頭体系、②海馬－中隔系、③扁桃体－視床下部系の３系に分けることができる。①と②を海馬系としてまとめれば、③の扁桃体系と対比させられて２つに大別できよう。

海馬体の入・出力

上に大脳辺縁系を図解してまとめた形で記述したが、とくに表記のテーマについて改めて説明を試みる [Gloor,1997 ; 松本と小野、2002 を参照]。
海馬傍回（嗅内野　海馬台の一部）から貫通線維を通って海馬体の入り口の歯状回に入ってきた信号は、歯状回内の顆粒細胞の樹状突起にシナプスを介して情報を伝える。この部分は盛んに神経細胞の新生が行なわれているところである（石、2002, 参照）。顆粒細胞からは苔状線維と呼ばれる軸索突起が伸びて、海馬（アンモン角）のＣＡ３の錐体細胞の樹状突起にシナプス結合する。ＣＡ３の錐体細胞の軸索突起はシェファー線維と呼ばれＣＡ１の錐体細胞に、一部は海馬采に投射を行なう。ＣＡ１，ＣＡ３領域、とくにＣＡ１領域はＬＴＰの研究が記憶との関連で盛んになされた部位である。エピソード記憶などの陳述記憶や場所を覚える記憶の初期段階の事象がここで完成すると考えられる。
この初期記憶の段階が長期的に保持され、想起されるためには次の２つのステップが起こらなければならない。第一はこの記銘と呼ばれる過程（プロセス）が繰り返されること。第二はある段階でその情報が長期記憶として海馬体以外の場所、すなわち新皮質の連合野領域に蓄えられることである。この神経基盤を明らかにするために以下の記述を行なう。
　第一の回路には、①　海馬体（歯状回→ CA3 → CA1）⇔ 嗅内野、②　嗅内野（第 II 層）→海馬体→乳頭体→視床前核→帯状回→嗅内野があり、第二の回路には、③海馬体→嗅内野→大脳皮質連合野、が考えられる。①は貫通線維、苔状線維、シェファー線維が関与している系で、②はペーペッツの回路と呼ばれる反響回路で、③は CA1 から一部は直接的に、大部は海馬台およびその近傍を経由して間接的に、嗅内野に至る系である。この CA1 から嗅内野への経路については石崎グループによって、直接投射は嗅内野の深層に、海馬台経由の間接投射はその表層にと選別されていることが、主にラットを用いて調べられている [本多と石崎、2001; 石崎、2002]（図３３）。CA1 からの出力路のターゲットは嗅内野のほかに、前頭眼窩野や帯状回に向かうものがあり（Yukie et al., 2004）、前頭葉（ルリアの第一機能ブロック系、後述、47 節参照）の高次機能を支える下位中枢（ルリアの第二機能ブロック系）からの情動、記憶、意欲を含んだ直接の入力路として注目されている。
＄（図３３）



（図３３）図８－２１－３：海馬 (CA1) から海馬台（Subiculum）を経由して嗅内野 (Entorhinal cortex) へ到る出力経路（石塚、２００２）。

海馬の trisynaptic 神経回路と記憶

上に述べたように、海馬における神経回路をみると、嗅内野から貫通線維を通って歯状回へ、歯状回から苔状線維が延びてＣＡ３へ、さらにＣＡ３からシェファー線維がＣＡ１へ，そしてＣＡ１から元の嗅内野に戻って閉鎖回路ないし反響回路を作っていることが分かる。このように見ると、海馬内の伝達回路は歯状回→ＣＡ３→ＣＡ１で表わされＣＡ２を飛び越しているように思われる。この領域はネズミでは狭いが、サルやヒトでは領域的に広くなり、動物の進化につれて発達してくるところらしいが、現在まで詳しい研究の対象にならなかった。改めてこのＣＡ２領域の線維結合を調べてみると興味ある事象が浮かんでくる。ＣＡ２から他の領域への遠心路については詳しい報告もなく、同じＣＡ２域内で長軸方向に結合するものが大部分を占めるという構造を思わせる。求心路の主たるものは上乳頭体（supramammillary nucleus）から入ってくる [Haglund et al., 1984; Ochiishi et al., 1999; Saji et al., 2000]。上乳頭体（およびその近傍）には情動系から入力があり [Gonzalo-Ruiz et al., 1992, 1999]、不安、緊張などに関連しており [Beck and Fibiger, 1995]、温熱 [McKitrick, 2000] や環境変化 [Wirtshafter et al., 1998] などのストレスが加わったときに、最初期遺伝子の cFos 陽性の細胞が増加することが知られている。このことを考慮すると上乳頭体・ＣＡ２入力系は海馬の機能とくに記憶回路に情動性を与えるシステムに関与しているように思われる。

同時に、不安抑制のような「負（マイナス）ないし陰性」の興奮が、苔状線維入力系のＣＡ３とその軸索側枝であるシェファー線維入力系のＣＡ１との間に位置するＣＡ２に、上乳頭体からの投射線維として入力してくる構造となっていることは、海馬における記憶形成のメカニズムを考える上で、有益な示唆を与えている。事実、少なくとも、① 利根川、中沢らの KO mouse/behavior study からこれら２領域間で記憶障害のパタン / 仕組みが異なること。② 山口らの海馬神経回路の記憶モデル（シータ位相歳差、theta phase precession）でも記憶の貯蔵と取り出しとに分けようとしているらしいこと。この２グループの研究成果はＣＡ２への "negative input" によってＣＡ３とＣＡ１の間に「壁（septum)」が形成されて二領域がそれぞれ独立な機能が発揮されていることを予測させる。

すなわち利根川グループは、ラット海馬 CA 1 野 (Tsien et al., 1996）あるいは CA3 野 (Nakazawa et al., 2002, 2003) に存在する NMDA 受容体 (この場合、その活性に必須である NR1 サブユニット) や LTP に重要な役割を演じていると考えられる α -CaMKII(α -Ca カルモジュリン・タンパク質リン酸化酵素 II：この阻害剤を添加すると LTP の発現がブロックされる) を、Cre － loxP 法を用いて領域特異的にノックアウトし、

空間認知について調べた。その結果、両者間に明らかな相違があり、CA1 ノックアウトマウスでは空間認知障害がみられたが、一方、CA ３ノックアウトマウスでは空間認知・記憶の獲得には障害は認められなかったものの、限られた情報からその記憶を思い出すことが困難になるという「パタン・コンプリーション」の異常が現れた。

同様に、以下に述べる山口らの研究も領域間の差異を強く示唆する。すなわちラット海馬における θ（シータ）リズム位相コードと文脈情報の基盤をなす時系列の記憶を研究のテーマとしている山口グループは [Yamaguchi et al., 2002; 山口、2004]、空間探索時の海馬場所ユニットのシータリズム依存的な活動、すなわち位相に依存した場所細胞の活動（シータ位相歳差）から記憶を作る海馬神経回路モデルを提案した [Yamaguchi, 2003]。そのモデルは、一種の連想記憶の回路として働く主たる領域

注] Cre － loxP 法：空間的・時間的に遺伝子のノックアウトを制限する方法で、例として CA1 領域のみで Cre という組み換え酵素を発現させて、ＤＮＡ配列を認識するトランスジェニックマウスと、LoxP という短いＤＮＡ配列の切り出しで NR1 の発現が阻止される遺伝子改変マウスとを掛け合わせることによって、解析しようとする CA1 領域でのみ NR1 サブユニットが欠損しているマウスを作製する方法。

注]：水迷路と放射状迷路：一般に、記憶獲得を調べる実験にはモリス（Morris）の水迷路テストが、周囲の標識を手がかりに空間記憶の状況を判断し想起する能力を調べる実験には放射状迷路テストが用いられる。

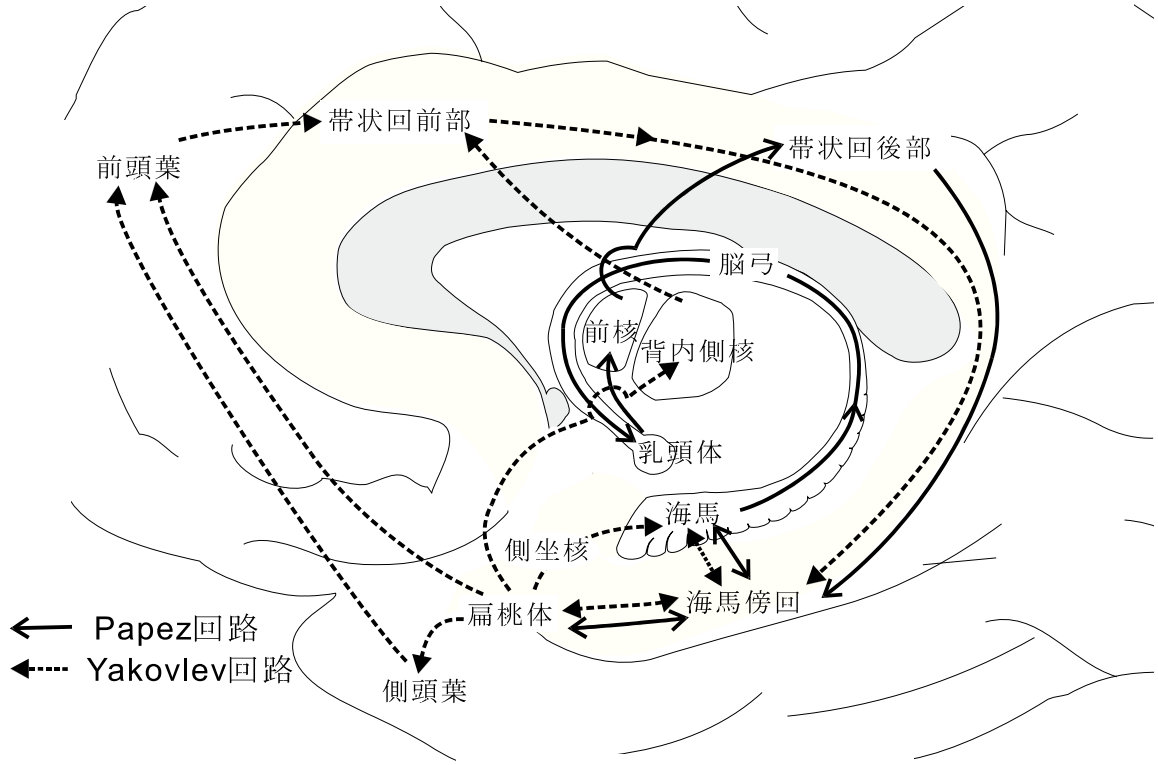
はCA3で、そこで時系列パタンができ事の記憶として貯蔵され、CA1さらに嗅内野へと出力されることで想起されるという趣旨のものである。

ペーペッツの回路とヤコブレフの回路

＄（図３４）

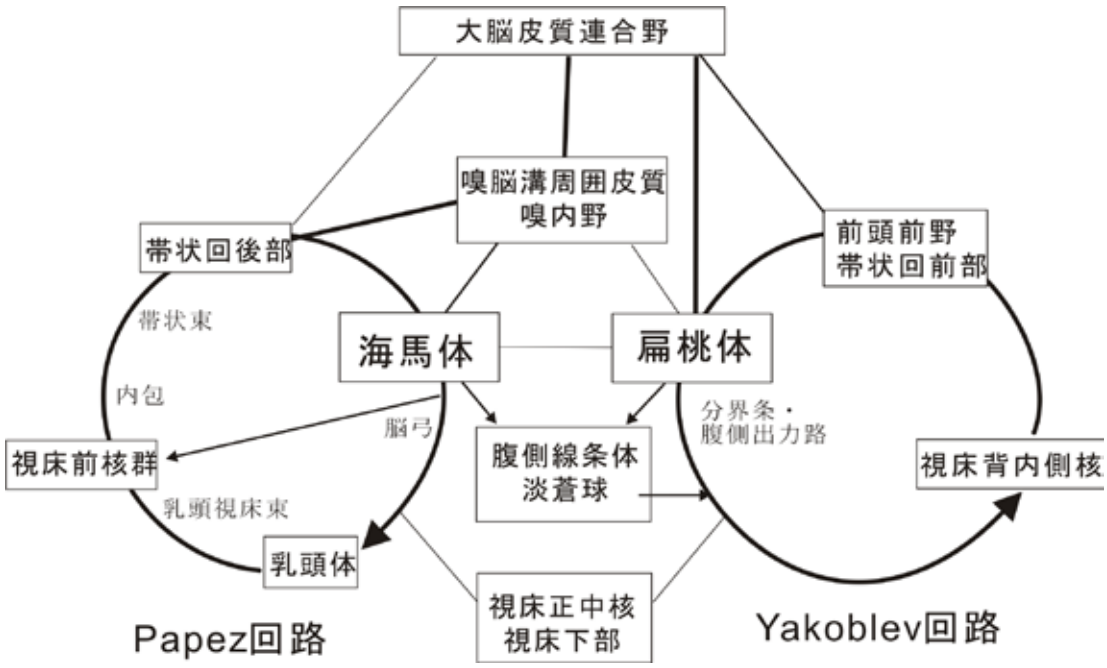
情動中枢説が支配的であった1930年代に、情動発現が幾つかの脳部位間の関連活動として捉えられて、情動の「ペーペッツの回路」（海馬→脳弓→乳頭体→視床前核→帯状回後部→海馬旁回→海馬）として提唱された[Papez, 1937]ことは、現在の研究から判断して記憶の回路に属するとは言え、やはり特筆すべきである。現在、情動の回路と言うべきものは、「ヤコブレフの回路」がこれに当たる。すなわち、扁桃体→視床背内側核（MD核）→帯状回前部→海馬旁回→扁桃体をめぐる回路、およびこれと並列して扁桃体→（側頭葉極部）→前頭葉眼窩面皮質→帯状回（その前部→後部）→海馬旁回→扁桃体をめぐる回路がそれで、情動や意欲さらには自我の発現にも関わる神経回路網と考えられている[Yakovlev, 1948]（図３４）。別に述べる（6節、38節）ように、中古皮質に属する帯状回、とくにその前部は、意欲に関連した行為を行なったとき局所循環血流量が増加する皮質野として知られている領域で、サルの実験でも独自に新しく工夫した有用な行為を施行して報酬を得た時に活動する神経細胞（ニューロン）が存在する[Shima and Tanji, 1998 b]。

ここで、現在明らかにされている海馬と扁桃体を含めた相互間の線維連絡の関係を簡略化して以下に（図３５）にまとめてみる。



（図３４）図８－２１－４：情動機構を説明する上でのキーワードとなる構造物とそれらを連結する記憶回路と情動回路（Papez回路とYakovlev回路）を示す模式図（川村、2000）。

注]：海馬の認知地図仮説[オキーフ、O'Keefe and Nadel, 1969]は、、居場所に選択的に海馬の細胞が活動し、細胞集団として周囲の地図を表現わするという海馬の主要な働きを想定する説で、そのような細胞は場所細胞(place cell)と呼ばれる。また、ラットが自発行動する間、海馬シータリズム（４－１２ヘルツ程度の正弦波的リズム活動）が細胞外電極により、LFP（local field potential, シナプス電流が細胞集団で揃って流れるために生じる電位）として観察されるが、場所細胞とシータリズムの関係は興味の対象となりよく調べられている[O'Keefe and Recce, 1993; Skaggs et al., 1996; Yamaguchi et al., 2002]。実験では、走行するラットの移動する位置に応じて、海馬内の場所細胞が次々と位相の順番で発火（活性化）する。ところで、ラットの海馬の容積は大脳の約20％をも占めており、空間（時間）認知を主体とする記憶のラットの実験結果を考察するとき、新皮質を著しく発達させた結果、海馬の占める比率が極端に小さくなっている（約5％）ヒトの脳が、進化の過程で獲得した記憶・認識・思考の神経機構の形成に、如何に関連するかを明らかにする必要がある。空間認知が優れているであろうロンドンのタクシードライバーの海馬発達の報告(Maguire et al., 2000)の延長線上に定めて、ヒトが知的活動を行なっているときに、内側前頭前野に源を発するされる、前頭正中部に出現わするFm θリズム（前述、13節）が、海馬に発生するθリズムと発達史的にどのように結びついてネットワークが形成されるのか、あるいは非依存的なのか、今後の研究課題である。



（図３５）図８－２１－５：海馬体系記憶回路と扁桃体系情動回路の交流部位。両系の回路は独立しているが、大脳皮質、線条体、間脳において相互の交流があり、不測不離の関係にあることを示す（石塚、2002）。

動物実験の結果、新皮質から海馬体への入力／情報の経路は必ず嗅内野・海馬台（ヒト海馬旁回近傍）を介していることが知られている [川村と小野、1987]。これは連合線維（皮質・皮質間結合）の連鎖である。固有の海馬ないし海馬体は、発生学的には、「大脳の辺縁（le grand lobe limbique, Broca, 1878）」、すなわち前脳胞から発芽して形成される内外２つのリング状の突起部分の内側の環部が室間孔（モンロー孔）周囲の脳の中心部分を縁どって（limbus）いる所にある。一般には、視床下部を含めた脳幹部から入力される、生存に関わる呼吸、循環、心臓の収縮および食欲、性欲などを包括する自律系・内分泌系からの要素（影響）と皮質連合野からの高度な情報を一時的にでも結びつけることにより、一般記憶の記銘過程や空間記憶の保持に関連した作業に関与していると考えられる。これを支持する行動・生理学的な証拠も提示されている [Eifuku et al.,1995; 永福と小野、2001]。

他方、扁桃体と大脳皮質との関係をみると、扁桃体は側頭葉の前部および下部、前頭葉の腹側部および眼窩面皮質など、感情・情緒に関連する皮質と相互に結合していることが明らかにされている [Kawamura and Norita, 1980]。その上、扁桃核は味や臭いや自律神経に関連する皮質下の諸核と結合している他、亜核内での役割分担も示唆されており、皮質－扁桃核間の神経回路が働くことによって、賞罰、報酬などの意味づけ、動機づけなどが形成される部位と考えられる [Ono and Nishijo, 1999]。このようにみてくると、哺乳動物の大脳辺縁系は大別して、記憶の可変器としての「海馬体系」と、感情表出複合体としての「扁桃体系」とから構成されていると一応みなされよう [川村と小野、1987] 。しかしながら、これらの部位には、量質の差があるにせよ、単に嗅覚系のみならずすべての感覚系の刺激が大脳皮質からも脳幹部からも入ってきており、この両系の調節ないし制御の働きを結びつけ得る場を求めるのであれば、その主要な接点は嗅内野ないし海馬台を含めて海馬旁回近傍にあると考えられる。

クリューバー・ビューシー症候群

扁桃体と情動記憶の関連についても研究が進んでいる。両側の扁桃体が破壊されたサルは、対象物の生物学的意味認知が障害され、食べられないものでも手当たり次第に口に運んだり（精神盲、口唇傾向）、同性に対しても交尾行為を仕掛けたり（性行動の亢進）、以前恐れていたヘビやヒトに平気で近づく（情動反応の低下）ようになる。クリューバー・ビューシー症候群と呼ばれている [Klüver and Bucy,1939]。てんかん治療のために、海馬の破壊を目的とした両側側頭葉切除手術（両側海馬切除手術）を行なった後に、（扁桃体の破壊をも伴うために）同様の症候群がヒトでも出現わすることが報告されている (1955)。このことは、扁桃体が対象物、あるいは感覚刺激の生物学的意味認知に重要な役割を果していることを示唆している。扁桃体は、新奇刺激や感覚刺激の生物学的意味が変化したときに、それらの刺激の生物学的な意味を学習していく過程に関与しているからであ

る。

恐怖条件づけ

ラットに音を聞かせたとき電気ショックを与えるという聴覚条件づけ（恐怖条件づけ）を行なうと、刺激条件（音）だけで血圧上昇やすくみ反応が起こるようになる。扁桃体が破壊されると、この条件づけ反応を用いた課題の学習は障害される。神経生理学的に言って、条件づけ学習により扁桃体ニューロンが条件刺激にも応答するようになるのである。 一般に、強く印象を受けたでき事や情動に裏づけられたでき事に関する記憶が長く残りやすいことが知られている。

情動の記憶

このような情動の記憶増強効果は、扁桃体が記憶固定の過程に促進的に作用していることによる。海馬体苔状線維をテタヌス刺激（100Hz, 1 秒の高頻度刺激）すると、記憶･学習に関わると考えられている長期増強 (LTP)、すなわちシナプスの伝達効率が歯状回において数日にわたって増強されるなどの可塑的な変化が観察されるが、苔状線維のテタヌス刺激時にさらに扁桃体内側部の電気刺激を同時に加えると、歯状回における長期記憶が増強されることが報告されている [Ono et al.,1993 ; 松本と小野、2002, を参照]。

扁桃体は情動記憶の獲得や固定や保持にも関与している。扁桃体には、感覚条件刺激や強化刺激に誘発された快・不快感あるいは嫌悪性の痛覚情報や報酬性の味覚情報が、（条件づけにより）同期的に入力され、長期記憶などの機序により感覚線維－扁桃体ニューロン間のシナプス結合が強化され、扁桃体ニューロンが条件刺激に応答するようになる。また、扁桃体は、中隔－海馬体系における学習性のシナプス応答の変化を増強させ、扁桃体で得られた情動記憶を長期記憶として大脳皮質に移行させる。なお､臨床的に単極性うつ病患者において [Drevets et al.,1992]、また健康人においても悲しみや喜びなどを表わす情動的な陳述記憶を思い浮かべる場合に、扁桃体で脳血流が増加していることが PET や fMRI を用いた研究により報告されている。

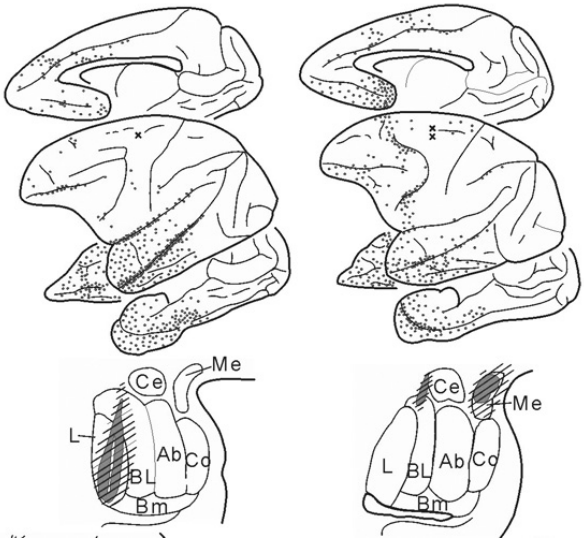
扁桃体への入力系

扁桃体には、味覚、嗅覚、内臓感覚、聴覚、視覚、体性感覚などあらゆる種類の刺激が、皮質感覚野を経過せずに、脳幹レベルから直接的にまたは間脳の視床核を介して間接的に入ってくる。環境からの情報を将にそのまま感覚的に受容する生 (なま) の粗な感覚である。その他に、大脳皮質を経由していわば高次元で処理され、知覚され、認知された結果が扁桃体に入ってくるものがある。この後者の入力系はその伝達経路の故に必然的に、時間的に僅かに遅れて伝達されるが、そのことによって、適正かつ精密な情報として入ってくる。すなわち、扁桃体の基底外側核は、梨状前皮質、嗅内野（28 野)、帯状回（とくに 24 野)、側頭葉、前頭前野からの皮質遠心性線維を受ける (Norita and Kawamura, 1980)（図３６)。以上の粗と精、原始的と識別的、低次と高次という２種の情報が扁桃核内で遭着する。そのことにより、環境に対して瞬間的、反射的に反応した生得的な生体反応は、成体の思慮深い知恵により、快か不快か、有益か有害かの判断に基づいて環境適応的に補正・修正されるのである。なお、ここで言う有益か有害かの判断は実生活上の実利的なものに限定されるものではなく、上記のように、情動記憶と扁桃体の関係からして明らかなように、ヒトの場合、周囲（社会）の情報を処理し、広く動因なるものを選定して、また芸術などに接した場合に知覚される高尚な快の情感、つまり精神的な意味で生体にとって有益な情感の判断もここに含められよう。また、自然の景観や宗教的経験における崇高な感情や超越的感動もここに根ざしていると考えられよう。

＄（図３６）

動物的情念と高尚な情感

こうした高尚・崇高な情感は、いわゆる哲学や美学に言う精神的なものとしてのみ人間に働きかけてくるのではなく、むしろここにみられる粗と緻の合体、すなわち原始的・体感的なものと、たとえば前頭前野を経由する



（図３６）図８－２１－６：サルの皮質・扁桃核投射（HRP 所見、Norita and Kawamura, 1980）。本図および図７３、図７４の所見の中で、陰影部と斜線部は HRP が注入された領域を、点は標識された起始ニューロンの位置を示す。

高次なものとの総合によってはじめて認知されるものであろう。何か崇高なものを前にして、人間はいわば心身の全体でこれを受け止め、宗教感情として「聖」なるものが認識され得る。神聖なものは、まず第一に高度なものなのではなく、(動物的に) 限りなく低く、同時に (人間的に) 限りなく高いものであることは扁桃体を含む大脳辺縁系の機能面からも強調されて然るべきであろうし、またこうした低くして高いものの認知が、以下のように視床下部に働きかけて、それによって体調 (これをこそアフェクトと言う) が整えられていく点も注意されなければならない。

分界条 (扁桃体の情報を視床下部へ伝える経路)

扁桃体の働きに、たとえば芸術→情動→療法といった、現在社会的関心を集めている音楽療法といったものの経緯の有効性を探る鍵の一つが存在していることは間違いあるまい。ともかくも、ここで行なわれるこの価値判断の機能の結果は、主として扁桃体の皮質内側核から起こる分界条 (stria terminalis) を経由して中隔核、視床下部 (前核、腹内側核、弓状核)、内側視索前核などへ伝えられ、小部分は主として基底外側核から起こる腹側扁桃体遠心路 (腹側投射系、ventral pathway) により視床下部外側部に伝えられる。

視床下部は摂食、性機能、水分代謝などの自律機能や脳下垂体の機能を促進または抑制する内分泌調節などを司る生命維持に関わる重要な領域で、外的または内的な誘因が存在するとき、視床下部への刺激が来たとき周囲への働きかけの動因となり、これによって動物は行動 (行為) を起こすことになる。扁桃体から入力される線維束である分界条の形成については相沢らによれば、マウス胎生 14 － 16 日で核集団を形成中のニューロンから軸索が束化を形成し、或る特定の細胞群 (LOT 細胞) をマイルストーンとして尾状核と視床の境界部に沿って背後部へ、また前方および腹方へと走り、形成過程の視床下部領域に侵入する [Aizawa et al.,2004]。そして腹内側部 (「満腹中枢」) や外側野 (「摂食中枢」) のニューロンとシナプスを作る。これらの領域にあるニューロンはグルコースに反応するが、同時に身体の脂肪細胞から分泌される肥満因子レプチンに対して腹内側部には促進的に、外側野には抑制的に反応する受容体を持つものも存在する (後述参照 , 25 節)。このほか視床下部には、大脳皮質、海馬、網膜、脳幹などから種々の線維が入力する。すなわち大脳皮質とくに前頭葉 (6 野) からは内側乳頭体核や腹内側核へ、海馬からは脳弓を経由して外側乳頭体核へ、網膜からは視交叉上核へ、さらに脳幹からはアミン系線維の視床下部の広い領域への投射が行なわれている。このうち、とくに大脳皮質－視床下部神経路に関しては、ラット、ネコ、サル、ヒトとおそらく動物の発達段階に応じた線維結合の状態変化が認められると考えるが、今後の研究に期待したい。

嗅覚や味覚の情報も扁桃体が処理する

嗅覚や味覚の刺激は脳幹レベルから直接、扁桃体の系統発生的に古い部分に当たる皮質核・内側核群に入力されており [Norita and Kawamura, 1980] 、その情動への関与も無視できない。水棲動物では嗅覚も味覚も同じ化学物質が各感覚細胞に興奮を与える。これらの動物では、聴覚は水圧や波動の感覚や一部味覚と同様に側線系がこれに当たっている。或る種の魚 (ゴンズイ) では、味覚が非常によく発達して側線葉と呼ばれる膨らみが生じており、その前方は小脳原基と考えられる部分で、そこでは聴覚系の蝸牛神経核が発達している。また、イヌが縄張り設定として嗅覚系を用いて自分の尿の同定をすることはよく知られているところである。

このように、嗅覚や味覚は、とくに下等動物において、辺縁系／情動と強い関連をもっている。ここで嗅覚と味覚の結びつきについて考えてみると、この両者には互いに補強しあう関係があるようにみえる。いわゆる「風味」といわれるもので、香りと味の組み合わせである。しかし、感覚器から大脳皮質までの投射路をみると、味覚系は延髄から孤束核→視床 VPM 核→外側溝壁部皮質へ、嗅覚は嗅結節→扁桃体、視床 MD 核→前頭葉眼窩面皮質へと全く独立した別のルートをとる。最近 Dalton らによるヒトを対象にした実験によれば、ヒトにサッカリンのような香りのない甘味物質を口に含ませたとき、塩味や辛味の物質を口に含んだ場合と比べて、サクランボやアーモンドの独特の香りを嗅ぎ分ける能力が向上したという [Dalton et al.,2000]。この組み合わせは経験的に西洋料理によく使用されるが、何れにもせよ小脳の扁桃がこの検知閾値の降下 (感度が増すこと) に関係するらし

注： 視床下部：間脳の一部で、その背側に位置する視床とは視床下溝により境される。その前方は明瞭な境界なしに終脳の一部である視索前野 (preoptic area) につながり、後方も格別の境無く中脳視蓋の腹側部と中心灰白質 (central gray matter) に移行する。腹側を前方から後方にみると、視神経交叉部 (その背側に生体リズムに関連する視交叉上核がある)、正中隆起 (内部に下垂体前葉ホルモンの放出因子を産出する弓状核と下垂体門脈系および下垂体後葉ホルモンが運ばれる神経分泌系の視床下部下垂体路が存在する)、乳頭体 (海馬から起こる脳弓線維が乳頭体内側核に終始する) が認められる。

いという。一方、視覚と聴覚との関連については、すでに前の章（4 節、7 節）で皮質レベルの形態を中心に論じているが、他の現象面においても、或る種の音楽を聴いて、情景が視覚的に思い浮かぶことは多くの人達が経験するところである。一般に視・聴覚系は、嗅・味覚系に比べてより高い感覚の階層に属し、原始的な生の情動との関連性は低いと考えられているが、網膜から入力される視覚性刺激を基に視床下部域で生体リズム（サーカディアンリズム）が形成されるという点は注目すべきである。情動と感覚の階層性の問題は別に論ずべきテーマである。

てんかん研究の歴史

精神医学の分野で海馬はてんかんの際の病理所見、すなわちてんかん発作による血行障害、酸素欠乏、萎縮性硬化症の存在が知られている。すなわち、古典的には海馬の CA1,CA3,CA4 に限局する細胞脱落とグリオーシスが強調されてアンモン角硬化（Ammonshornsklerose、海馬硬化 : [Spielmeyer,1927; Uchimura, 1928] により、痙攣の際の機能的血行障害による断血性の細胞変化と脱落をおこし、その結果二次的にグリア線維が増殖し瘢痕が形成され組織が萎縮する）と言われたが、後に扁桃体、海馬傍回などにも病変が及ぶことが知られて、現在は内側側頭葉硬化 (mesial temporal sclerosis) と呼ばれている [Burton, 1988; Lambert et al., 2003]。また、燃え上がり現象 (キンドリング：kindling　phenomenon) [Goddard et al., 1969] が実験てんかんのモデルの一つとして知られている [佐藤、1975]。燃え上がり現象とは、動物（ネコやラット）の海馬や扁桃体にけいれん閾値以下の電気刺激を 1 日 1 回数秒間与えると、てんかん発作の準備状態が形成され、低閾値の刺激で興奮が誘発されやすくなるという現象である。この神経機序には関連する神経回路内のシナプス伝達の長期増強（LTP）が関与すると考えられている。この異常興奮の機序としては、シナプス抑制の減少、シナプス興奮の増大 (とくに貫通路「perforant　path」が終止する歯状回顆粒細胞におけるグルタミン酸シナプス伝達の増強)、さらにニューロンの発芽現象 (sprouting) およびシナプス再構成が起こる結果とされている [植村ら、1996]（注：参照）。

LTP という現象は、てんかん発症（epileptogenesis）のメカニズムの解明に関連があると思われるが、これまでは記憶や学習との関連で多くの研究がなされてきた。本格的な臨床研究が始まったのは、てんかん治療のために両側海馬切除手術をうけた H.M. という名前の患者が、てんかんの発作は治まったが、予想外に、ある life event をきっかけにその後の記憶を失うという現象である「前向性健忘症」が発見さて以降のことである [Scoville and Milner, 1957]。

最近は海馬に発現わする酵素などの特定の遺伝子を空間的・時間的に、人工的に破壊して、働かないようにして作製した遺伝子に異常のある「ノックアウト」マウスを用いた研究を行ない（例として、前述、利根川グループの研究など）、シナプスレベルでの LTP の発現機序と行動レベルでの記憶・学習の関連について調べ、その相関を明らかにしている。もっとも、LTP とキンドリングはともに電気刺激に対して作られる長期間持続する可塑的変化であるという点では同じではあるが、LTP が反復刺激の短いバースト（burst、群発射）を与えることで作れるのに対して、キンドリングの方は数日から数週かけて毎日繰り返し刺激を与えなければ成立しないという現象である。その点からして、両者は現象としては似てはいるけれども同じ機序として説明することは難しい。実際、この 2 つの現象の誘導過程において、歯状回の顆粒細胞で c-fos, c-jun, jun-B など最初期遺伝子群の mRNA の発現を比較して可塑的変化について調べてみると類似性はあるものの、確かな相違が認められる（Cole et al., 1989）。また、キンドリング現象は扁桃体に反復電気刺激を与えることによっても成立する（Uno and Ozawa, 1983）。

扁桃体は嗅内野でシナプスを介して歯状回と線維連絡があり (前述、本２１節)、神経系の可塑的な変化の故に、キンドリングの形成過程で相互に二次的なてんかん

注]：歯状回皮質は分子層、顆粒細胞層、多形細胞層の３層から成る。顆粒細胞層にはグルタミン作動性（興奮性）の顆粒細胞と GABA 作動性（抑制性）の籠細胞が存在する。そして、後者は前者を抑制する（フィードバック回路）。

顆粒細胞の樹状突起は、分子層内の遠位部で嗅内野や嗅周野から起こる貫通線維を、近位部で CA3 と CA 4 から起こる線維を入力として受ける。また、アンモン角 (cornu ammonis) は海馬台側から CA1,CA2,CA3,CA4[Lorente de No, 1933-4] の順に領域的に区分される。歯状回顆粒細胞の軸索は苔状線維と呼ばれ、CA3,CA4 の細胞に興奮性のシナプスを与える。

CA3、CA4 の錐体細胞の軸索は、主として海馬後部からは海馬采より出て脳弓線維となって視床下部とくに外側乳頭体核に、また主としてその前部からは外側中隔核に終わる。そしてこれらの軸索はシェファー (Schaffer) の側枝を出して CA1 細胞にシナプスを作る。

CA1 からは線維が出て嗅内野に戻る。海馬への求心性線維としては、貫通線維のほかに内側中隔核や対角帯 (Broca) や無名質から入るアセチルコリン性の中隔海馬線維、青斑核からのノルアドレナリン線維および縫線核からのセロトニン線維などがある。なお、CA3 野から出る錐体細胞軸索の側枝が同じ CA3 野内の神経細胞にシナプスを形成するという構造を示す、反回性経路（recurrent pathway）がみられるが、このようなネットワークの特徴は記憶の蓄積や想起に貢献する構造の仕組みと考えられている。

原性（epileptogenicity）を獲得する可能性は十分に考えられる。てんかんの他に、最近は、統合失調症、うつ病、外傷後ストレス障害（post-traumatic stress disorder, PTSD）の患者の脳でも、海馬や扁桃体の機能異常や萎縮、神経細胞の脱落などの形態変化が報告されている。善悪、好悪、是非、賞罰の識別や情緒・気分状態の健全な切り替え、さらには自律神経・内分泌系（２５節、参照）が深く関与する大脳辺縁系の快楽や恐怖への感知システムに対して、如何に適切に前頭葉皮質の制御機構が働いているのか、現在、治療法の開発と結びついたこれらの研究が進んでいる。それにつけても、大脳辺縁系－視床下部－前頭前野を中心に大脳皮質連合野を基盤とする神経回路の発達障害の原因究明については今後の研究に俟たねばならないが、これらの精神疾患の易再燃性（後述：臺の履歴現象、４４節、参照）について考えるとき、人間の精神のはたらきを深いところで支えている、辺縁系が演じる根源的な役割にあらためて気付かされる。

ニューロンの新生（よく学び、よく遊べ）

ここで最近注目されてきた事実として、学習・記憶さらに情動にも深い関係があるとされているニューロンの新生、とくに海馬歯状回における顆粒細胞の新生について言及しておきたい。顆粒細胞は海馬に入力される感覚／知覚情報を不断に受け取り、新しいシナプスを形成する。ゲージグループらの研究によれば、生後間もないマウスを遊び道具のある広い飼育室の中で仲間と一緒に「豊かな環境の下で」育てると、狭いケージの中に孤独に飼った場合に比べて、新生ニューロンの数は有意に多かった [Kempermann et al., 1997]。その後、成人の海馬においてもニューロン新生が起こっていることが示された [Eriksson et al., 1998]。すでに知られているマウス脳室下層 (subventricular zone, SVZ) におけるニューロン新生（嗅球顆粒細胞の前方移動や線条体および扁桃体のニューロンの新生など）およびごく最近明らかにされた成人側脳室の SVZ からのニューロン新生に関する大きな可能性 [Pincus et al., 1998; Sanai et al., 2004] とともに、今後精神医学の分野においても注目され、fMRI での萎縮所見とも関連づけて研究が進展するであろう。

22 節　感情と気質－クレッチマー

意識、欲求、情動

ここでドイツ文化圏の文学的、芸術的そして哲学的素養をもった学者として有名なクレッチマー (Ernst Kretschmer, 1888 － 1964) について述べたい。テュービンゲン大学精神医学教授として活動したクレッチマーは、『敏感関係妄想』(1918) と『体格と性格』(1921) のなかで敏感関係妄想 (Der sensitive Beziehungswahn) と彼が名づけたある種の妄想疾患を、感情移入に富んだ理解により、性格、環境、体験の間の関係を多面的に明らかにしつつ精神療法を行って治癒させるという「多元的診断と治療、Mehrdimensionale Diagnostik und Therapie」の構想を呈示し、さらにその診断の第一次元として体質の研究を行なった。そこでクレッチマーがとったのは、内因性精神病、ことに精神分裂病（統合失調症）圏と躁うつ病圏での病像の生起を遺伝によって規定された特定体質の心身両域にわたる表現として理解しようとした。意識機能、欲求機能、情動の３つの機能を心的中枢機能と名づけた彼は、それぞれを脳生理学的見地から考察している。また嗅覚や味覚を「下等」な（ヒエラルキーが低い）感覚とみなし、内臓感覚、深部感覚なども含めて体全体に広がっている情動や衝動に関係する感覚として "die affektverwandten Empfindungen"（情動親近性感覚、切替訳）と名づけ、生命感情と強く結びついているとした。

これに対して、聴覚や視覚や触覚は表象や知覚として使われるもので、情動との結びつきは稀薄であるとし、"die vorstellungsbildenden Sinnesempfindungen"（ 反映感覚、切替訳）と名づけた [Kretschmer,1956]。今の神経科学の言葉を用いると、それぞれ、古皮質レベルおよび新皮質レベルの高次神経活動の反映ということになる。しかし事は単純ではない。この問題は感覚の階層性と情動の階層性という両側面から、その相関について考察することを要求するからである。

情動性の概念（情動、感情、気分、気質）

クレッチマーは、情動性という概念を用い、それを内容的に情動 (Gem?t)、感情 (Gef?hl)、気分 (Stimmung)、気質 (Temperatur) と分けて以下のように説明した。すなわち、「比較的単純な個々の過程」を「感情」、「とくに持続時間が短く範囲は限られているが強力な感情の経過」を「情動」、反対に「感情状態が長時間に亘って全体として一様で漠然とした状態にある場合」を「気分」、そして最後に「或る個性全体をその情動性の全体的態度をもととして普遍的特徴的な形であらわしたもの」を「気質」と名づけ、それは個体の液体－神経性基質と関係が深いと考えた。そして、体格と気質が内分泌器官および自律神経器官と関係が深く、情動と自律神経系、内分泌系は緊密な共同作業を行なっているとして、身体と精神の相関の問題を研究した。

「氏 (nature)」vs「育ち (nurture)」

その成果として現れたものが著書『体格と性格』[Kretchmer, 1921] である。クレッチマーは、性格を生まれつきの性質として強く主張しているが、これは神経系の「型」に相当するものであって（後述、５４節、のパブロフの「型」の発見の記述を参照)、性格は固定した不変のものではなく、生活環境の中で獲得される性質が混在して形成されるものである。

近年、中枢神経系は「硬い、再構築不能の」線維連絡の構造物ではなく、可塑性を備えた再生可能な組織であることが証明され、新しい神経学の分野が開拓されつつある。このように神経科学の果実を掌中にしているわれわれは、２０世紀初頭になされたクレッチマーの研究からその精神を読みとりつつ、第一義的に遺伝子を想定する従来の思考法を超えて、新しい次元の精神医学を発展させていかなければならないと思う。そのためにも脳の高次機能の一つとしての情動の問題を、下等動物を含めて系統発生学的立場から、言語（ロゴス）機能を獲得したヒトの脳における情動（パトス）と結びついた精神活動に至るまでの展開として生物学的に論じてみる必要はあろう。とくにヒトの脳の視覚および聴覚連合皮質に焦点を合わせた活動について語ることは、これと美術や音楽という人間の精神活動の所産について同時的に、無理なく一致させて語ることに道を拓くことになる。

23 節　ドーパミン

中脳にある A9 ニューロン群と A10 ニューロン群

哺乳類の脳幹にはカテコールアミンであるノルアドレナリンとドーパミンや、インドールアミンであるセロトニンなどのモノアミンを伝達物質とするニューロンが存在するが、これらは情動機能に深く関与している（図３７)。中脳には、黒質緻密部（A9 細胞群）と腹側被蓋野（A10 細胞群）に多数のドーパミンニューロンが存在する。A9 ニューロンは運動の調節に関連する錐体外路系のもので、尾状核と被殻から成る線条体 (striatum) への広範な投射をする系である（黒質線条体系、受容体は D1R, D2R)。線条体はアセチルコリン含有細胞、SP（サブスタンス P）ニューロン、GABA ニューロンを含んでいる。

線条体への最大の入力は大脳皮質からのもので、主に運動関連皮質からの投射線維と言われてはいるが、前に述べたように（５，９節、参照)、霊長類では１７野を除いてほとんど全皮質領野からなされる広範囲な投射がみられ、身体全体のトータル的バランスを調節する機能がここにあるとされている。これに対して A10 ドーパミンニューロンは腹側線条体である側坐核や嗅結節に投射しているが（中脳辺縁皮質系)、そのほか、扁桃体中心核、前頭前野、帯状回などの終脳領域にも広く投射が行なわれ、新奇 neugierig なものの刺激に反応する快楽的情動／意欲 (emotion/motivation) に関わるものとして関心がもたれている。

目立たなかった側坐核

側坐核は腹側線条体に位置し、視神経交叉の前方で前交連をとり巻く形でみられる、大脳辺縁系に属する細胞集団で、背外側の核部（core）と腹内側の殻部（shell）に分けられる。線維結合上、前者は運動に、後者は情動や自律系に関連が強いと考えられている。shell には豊富なドーパミン線維と 4 型ドーパミン受容体（D4R）の強い発現が認められる。側坐核への神経性入力としては、体性感覚、自律神経系、内分泌系からの刺激を伝える下位脳幹や視床下部からのものと、種々の感覚刺激が処理された形で伝わる大脳皮質、海馬、扁桃体からのものがあり、腹側海馬台（ventral subiculum）および 扁桃体の基底外側核・中心核からは、それぞれ、脳弓および分界条を経由した同側性の興奮性入力が知られている。これらの刺激はその状況に応じて、A9,A10 から側坐核内に入力されるドーパミンの放出を制御し、その刺激は直接、あるいは腹側淡蒼球のグルタミン酸作動性ニューロンを介して視床下部や下位脳幹に伝えられる。なおドーパミン系には、上記の①黒質線条体系、②中脳辺縁皮質系のほかに弓状核、視床下部脳室周囲部を起始核として正中隆起、下垂体へ投射する③視床下部下垂体系が知られている。

マウスやラットなどのげっ歯類で明らかにされたドーパミン系の構成は、基本的には霊長類にもあてはまると考えられる。しかし進化・発達の度を反映して両者間に差異があることは当然で、その点も含めて、以下に、その対象とする範囲を広げてさらに詳しく考察する。

注]：ドーパミン産生細胞は中脳の脳室（完成された形では中脳水道）の腹側部神経上皮（基板）においてマウス胎生 8―12 日に誕生したニューロンが放射状グリアに沿って腹側に移動し、さらに接線方向線維 (tangential fiber) に乗り変えて内側に移動し、A8：後赤核領域の中脳網様体 (midbrain reticular formation), A9：黒質緻密部 (SNpc) および A10：中脳腹側被蓋野 (VTA) と名づけられた３つの部位に定着する [Kawano et al.,1995 ; Ohyama et al.,1998]。

上述のようにげっ歯類を用いた研究から A10 ニューロン系は線条体の内側部と側坐核や嗅結節など、さらに前頭皮質や帯状回を含む辺縁皮質、扁桃体中心核への投射を行なうとされている。しかし霊長類においては、いずれかの領域、とくに新皮質に傾斜する傾向はあるが、その相違については詳細な研究が必要である。ドーパミン細胞の軸索は無髄で、活動電位の伝達速度も 1 － 5m/sec と遅く、興奮性アミノ酸（グルタミン酸、アスパラギン酸）や抑制性アミノ酸 (GABA) を伝達物質とする神経回路（投射）系のように情報を素早く伝えるという役割をもつ系ではなく、むしろ、標的ニューロンの活動を「調節」する役割を演じている。

このドーパミン線維の分布は大脳新皮質に広くみられるが、その活動のうちでもとくに前頭葉への投射はよく知られている。ドーパミン線維の密度は前頭前野というよりも高次運動野といわれる領野に高いといわれている。皮質へのドーパミン投射は運動の準備、指令を含む随意運動系の制御に関係しているが、線条体投射系は運動の開始と制御に関連している。

ドーパミン受容体と精神疾患

ドーパミン受容体（レセプター）は D1 ファミリー（D1, D5）と D2 ファミリー（D2, D3, D4）に大別される。その主要なタイプは各々 D1 受容体と D2 受容体である。ドーパミン受容体の脳内分布をみると、D1、D2 受容体は大脳基底核全体に [Sibley and Monsma, 1992] 、D3 受容体は腹側線条体や扁桃体に [Joyce and Gurevich, 1999]、D4 受容体は大脳新皮質の錐体細胞や海馬、側坐核の shell（殻部）に [Khan et al.,1998] 、D5 は海馬や視床下部に強く発現わする [Sunahara et al.,1991] ことが知られている。またサルを用いた研究により、前頭葉の運動関連領野が担う随意運動のコントロールには D1 受容体の賦活が関わっていることが明らかにされているが [Sawaguchi and Goldmam-Rakic, 1991; Williams and Goldman-Rakic, 1995]、中でも前頭葉の運動関連域の神経活動の内、高次の活動として捉えられるものが自発性、能動性機能の発現に他ならない。つまり表情、感情、意志の発現は、それが言語的表現にしろ非言語的表現にしろ、その調和的運動調節によって成り立っていることには変わりがなく、その際の主たる形態的基盤は、前頭葉におけるドーパミン線維終末とドーパミン受容体にある。

このドーパミン系が他の伝達物質系、とくに GABA やグルタミン酸を含有する神経細胞とシナプス結合を形成することによって他への作用は行なわれるわけで、その結果、皮質と皮質下との間を結ぶ投射線維とは異なる皮質・皮質間を結ぶ連合線維の存在により海馬、帯状回、基底核、扁桃体、等々との連絡がとられ、これによって GABA やグルタミン酸 (glutamate) による主要な情報伝達系をドーパミンが調節するという形で " 精神・神経活動 " は発揮されているのである。なお、統合失調症にみられる陽性症状（幻覚や妄想など）は脳内ドーパミン神経伝達の亢進が関与していると考えられてきたが、経験的事実としても、ドーパミン神経伝達を亢進させるアンフェタミン類 (metamphetamine, d-amphetamine) や NMDA 受容体を強力に遮断するフェンシクリジンを服用したとき、統合失調症に類似の精神症状が引き起こされることが知られている。

＄（図３７）

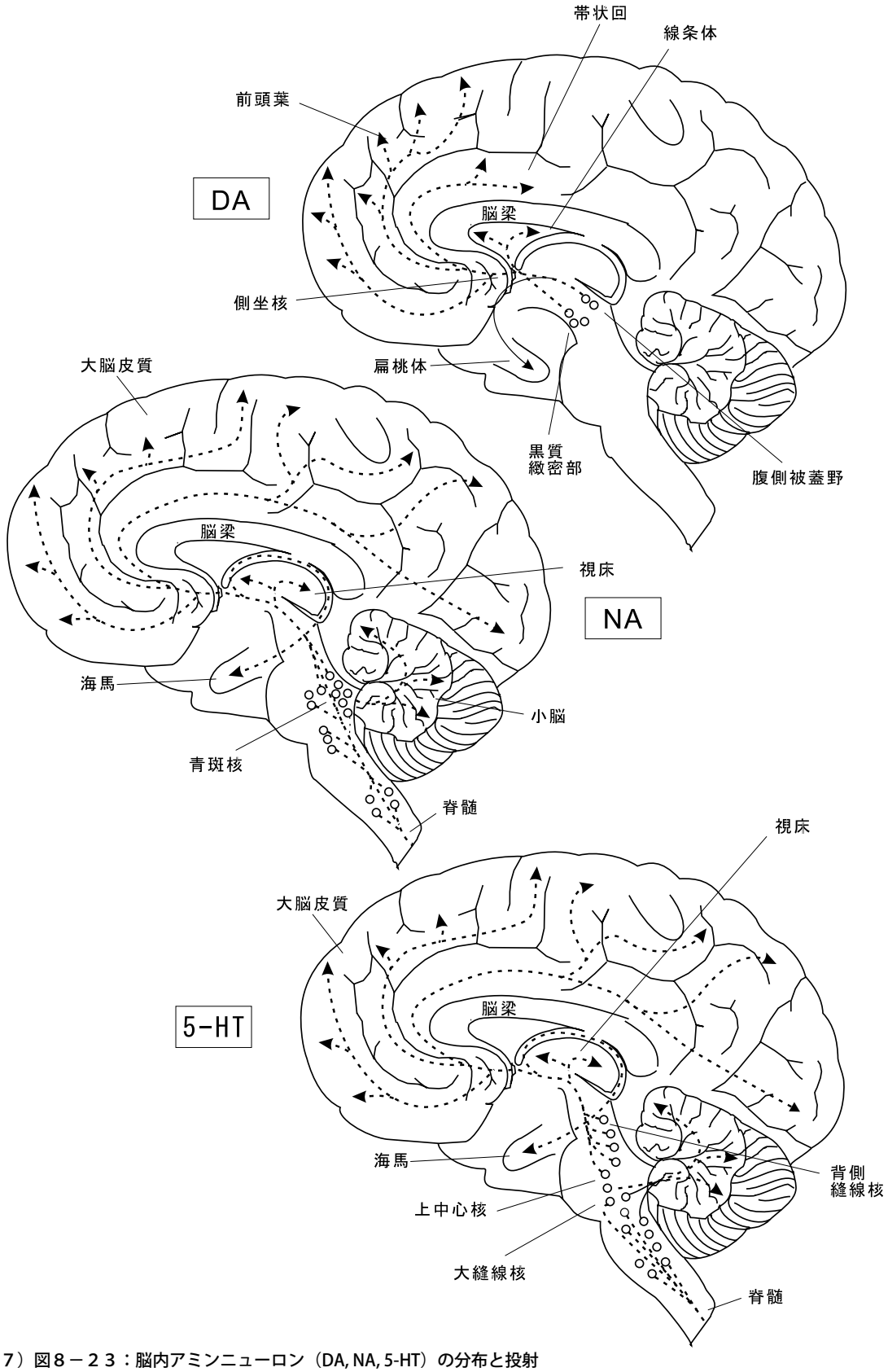
24 節　セロトニン

脳幹の正中部にある縫線核

一方、中脳、橋、延髄の正中部（縫線）にある細胞体は本来網様体に属するが、特定の作用を持ち、縫線核 (raphe nuclei) と呼ばれる（図３７）。この細胞群にはインドールアミン系のセロトニンが含まれ､中脳レベル（とくに背側縫線核 , R.d.）のニューロンからの線維はカテコールアミン系（ドーパミン、アドレナリン）の線維とともに内側前脳束を作って分枝を与えながら視床下部外側部を上行し、大脳基底核（線条体、側坐核）、さらに大脳皮質（前頭前野、帯状回を含む広い領野）に到達する。他に､上中心核 (C.s.) と背側縫線核 (R.d.) からは海馬、中隔野、扁桃体に、そして大縫線核 (R.m.) と淡蒼縫線核 (R.pa.) からは脊髄にセロトニン神経線維が延びている。なおノルアドレナリン神経系の起始部である青斑核もセロトニン線維を受けている [Brodal, 1981]。このようにセロトニンニューロン系は、B1 ～ B8 と分類される脳幹内のニューロン群（縫線核、細かく区分された領域の学術名は注:を参照）であり､図３７に示されているように、広く脳幹､小脳､間脳､終脳にその軸索線維を送っている。

低セロトニン症候群（攻撃、衝動、自殺）

セロトニンニューロンは、規則的な３－５ Hz の自発的スパイクを発し (Aghajanian, 1985)、in vivo での神経活動は覚醒レベルに依存し、この覚醒時に出現わする自発的スパイクは、歩行運動、咀嚼運動、呼吸運動などのリズムがくり返された時にその発射頻度を増加させ、注意を向ける行動 (orientation) によって逆に抑制される。



（図３７）図８－２３：脳内アミンニューロン（DA, NA, 5-HT）の分布と投射

DA（ドーパミン）：脳内ドーパミン作動性ニューロンの投射系：脳における主要なドーパミン神経核は、線条体へ投射する黒質緻密層、前頭皮質および帯状皮質、側坐核やその他の辺縁領域に投射する腹側被蓋野ならびに下垂体に対してドーパミン作動性の調節を行う視床下部の弓状核から成る。

5-HT(セロトニン)：脳内セロトニン作動性ニューロンの投射：脳におけるセロトニン作動性の主な核は、脳幹縫線核である。図では、ただし核は強調されており、その広範な投射は著しく単純化されている。

NA(ノルアドレナリン)：脳内ノルアドレナリン作動性ニューロンの投射系：脳幹に位置する小さい核、青斑核、を形成するニューロンから発して、大脳皮質、海馬、視床、小脳皮質など広範域に投射する。

医学的にも、とくにこの日常的リズムの形成・維持（9章で後述される）とセロトニン系との関連は重要で、精神科領域の治療面で今後一層注目されるべきである。

古くからマウス・ラットにおける仲間殺し（muricid, ムリサイド）や攻撃行動がセロトニンの前駆体（5-hydroxytryptophan, 5-HTP）を投与することにより抑制されることや、セロトニン細胞や線維を破壊するとムリサイドが観察されること [Kulkarni et al.,1973；Grant et al.,1973] から、これらの動物にみられる攻撃性が低セロトニンと結びつけられて考察されてきた。またサルやヒトにおいて、ストレスや攻撃性行為の制御にセロトニンのレセプター減少に導くコレステロールの減少が関係していることも指摘されてきた [Engelberg, 1992; Kaplan, 1991; Vikkunen et al.,1984, 1987] 。さらにヒトでセロトニンの代謝物である 5-hydroxylindol acetic acid (5-HIAA) の脳脊髄液中における量の低下と攻撃性、衝動行為、自殺行動との関連がみられることも報告されている [Brown and Goodwin, 1986] 。現在セロトニンニューロン発達障害仮説として「低セロトニン症候群、low serotonin syndrom」[Linnoila and Virkkunen, 1992] が注目されているが、家庭、友人、学校内の稀薄な人間関係などの個人的な、または銀行の不祥事や警察の腐敗や凶悪犯罪などの社会的な、或る個の育った環境からのストレスがこの低セロトニン状態に加わることによって、自殺行為や時には殺人行為への引き金が引かれることにもなりかねない。自殺者の脳の研究からも、5-HT や 5-HIAA の低下の他に脳全体におけるセロトニントランスポーターの低下、さらにはシナプス後部の 5-HT1A レセプターや 5-HT2A レセプターの上昇（up-regulation）が、前頭眼窩野を含む腹側前頭葉に認められている [Arango, 1995]。

以上、げっ歯類でも霊長類でも攻撃的行動が観察されているが、おそらくその発現抑制の機構には両動物間に質的な相違が存在する。推察するに、げっ歯類では 5-HT1A 、5-HT1B レセプターを介して直接的に情動に訴える辺縁系－視床下部系が強く関係しており、これに対して新皮質が発達した霊長類においては 5-HT2A レセプターを介しての前頭葉からの抑制系が大きく関与するようになると考えられる。

以上見てきたように、ドーパミン系やセロトニン系の作用には辺縁系、前頭葉、伝達物質や自律神経系を含む高次神経活動による創造的精神活動までをも指向するポジティブな側面と、同時にそのバランスが崩壊したときには精神異常を呈するに至るネガティブな側面を含んでおり、医学的にも教育的にも芸術・文化的にも子供の発達段階に合わせて考えなければならない重要な問題が呈示されている。

25 節　視床下部ペプチドニューロン系と情動機能

内分泌系・自律神経系の最高中枢

間脳視床下部に存在するホルモンが脳下垂体の機能を制御することがハリス [Harris, 1948] によって指摘されて以来、視床下部は内分泌系の最高中枢であり、自律神経系や情動反応の表出のための中心的な場であるとされてきた。視床下部は、睡眠、生体リズム、性機能、エネルギー代謝、水分代謝、体温調節など、広範囲な生体の自律調節を司る他に、補食、闘争、性などに関係する本能行動や感情の表出などに関わる重要な小さな領域（脳の総重量の約 0.5 %）である。解剖学的には視床下部は多くの神経細胞の集団（神経核）から構成され、それらはしばしば機能的単位としても働くことが知られている。大脳皮質や小脳と異なり、視床下部では幾多のペプチド作動性ニューロンがその機能に重要な役割を演じている。たとえば、下垂体機能を調節する神経内分泌ニューロンは視索前野、室傍核、弓状核など特定の神経核内に存在し、その軸索を正中隆起の外層に終止させて、種々の神経ペプチドを下垂体門脈系毛細血管叢に放出する。すなわち下垂体門脈系を介して、前葉細胞に働きかけホルモンを分泌させる。（次項の注を参照）。

視床下部ホルモンと下垂体ホルモン

さらに、生体リズム、睡眠、摂食調節などに関連するペプチドニューロンも多く見つかっている。視床下部のもう一つの特徴は、これらのペプチド性ニューロンの機能が末梢ホルモンによって液性に制御されていることである。下垂体を調節するペプチド（視床下部のニューロンが作るホルモンであるために視床下部ホルモンと総称される）は下垂体前葉からのホルモンの分泌を調節し、さらに下垂体前葉ホルモンは甲状腺ホルモン（T3 と T4）、副腎皮質ホルモン（グルココルチコイド）、性ホルモン（男性 / オスでは精巣で作られるアンドロジェン、女性 / メスでは卵巣で作られるエストロージェンと

注：nucleus raphe obscurus (R.o., 不確縫線核)， nucleus raphe pallidus (R.pa., 淡蒼縫線核)， nucleus raphe magnus (R.m., 大縫線核)， nucleus raphe pontis (R.p., 橋縫線核)， nucleus centralis superior (C.s., 上中心核)， nucleus raphe dorsalis (R.d., 背側縫線核)， nuclei linearis intermedius (L.i., 中間線状核)， nuclei linearis rostralis (L.r., 吻側線状核)

プロジェステロン）を分泌させる。これらの末梢（性）ホルモンは多くの生体臓器を標的としているが、視床下部にも働いて、それぞれ、TRH、CRH、LHRH の分泌を抑制する。これが、いわゆる負のフィードバック機構であるが、メスでは排卵前に卵胞が成熟し、血中の発情ホルモン（エストロージェン）の濃度が周期的に上昇し、LHRH － LH の分泌を誘導し、排卵を起こすような正のフィードバック機構も存在し、末梢ホルモンの中枢作用は単純なものではない。これに対して、オスの生殖機能には周期性がなく、精子の形成は常時連続的に起こっている。

性行動と性差

上述の種々のホルモンの受容体は視床下部だけでなく脳の広い領域に存在し、多様な機能を果していることがわかっている。たとえば海馬には豊富なグルココルチコイド受容体が存在し、ストレス応答の際にグルココルチコイドがこれらの受容体を介して高次脳機能に影響を与えている。また、成体ラットでエストロージェンの投与は記憶・学習能力を向上させることも報告されている。また、末梢ホルモンは脳の発達にも重要であることが知られている。たとえば甲状腺ホルモンに対する受容体は新生仔期の小脳に豊富に発現わするが、甲状腺の機能を阻害すると、小脳プルキンエ細胞の樹状突起の形成が不全になる。さらに劇的な例は性ホルモンが脳の性分化に決定的な役割を持っていることである。脳には性差が存在し、メスの脳は性周期を生みだし、メス型の性行動（ロードシス）を示すが、オスではオス型の性行動（マウンティングなど）を行なうよう指令する。この脳の性差は性染色体により遺伝子レベルで一義的に決まっているのではなく、発生過程のホルモン環境で決定する。胎仔はすべて生来メス型になる脳で発生してくるが、新生仔期に雄性ホルモン（アンドロジェン）が存在すると、脳がオス型に変わることが知られている。新生仔期のアンドロジェンは性的二形核 (sexually dimorphic nuclei) と呼ばれる視床下部内の特定領域に作用し、ある部位では細胞死を誘導し（オスでニューロンの数が少なくなり、核の大きさが小さくなる)、また他の領域では細胞死を防ぐ（オスでニューロンの数が多くなり、核の大きさが大きくなる)。ラットでは形態学的に性差の明瞭な神経細胞集団として視床下部の内側視索前野（mPO A）があり、体積比はほぼオス / メス＝８もある [Gorski et al., 1978]。

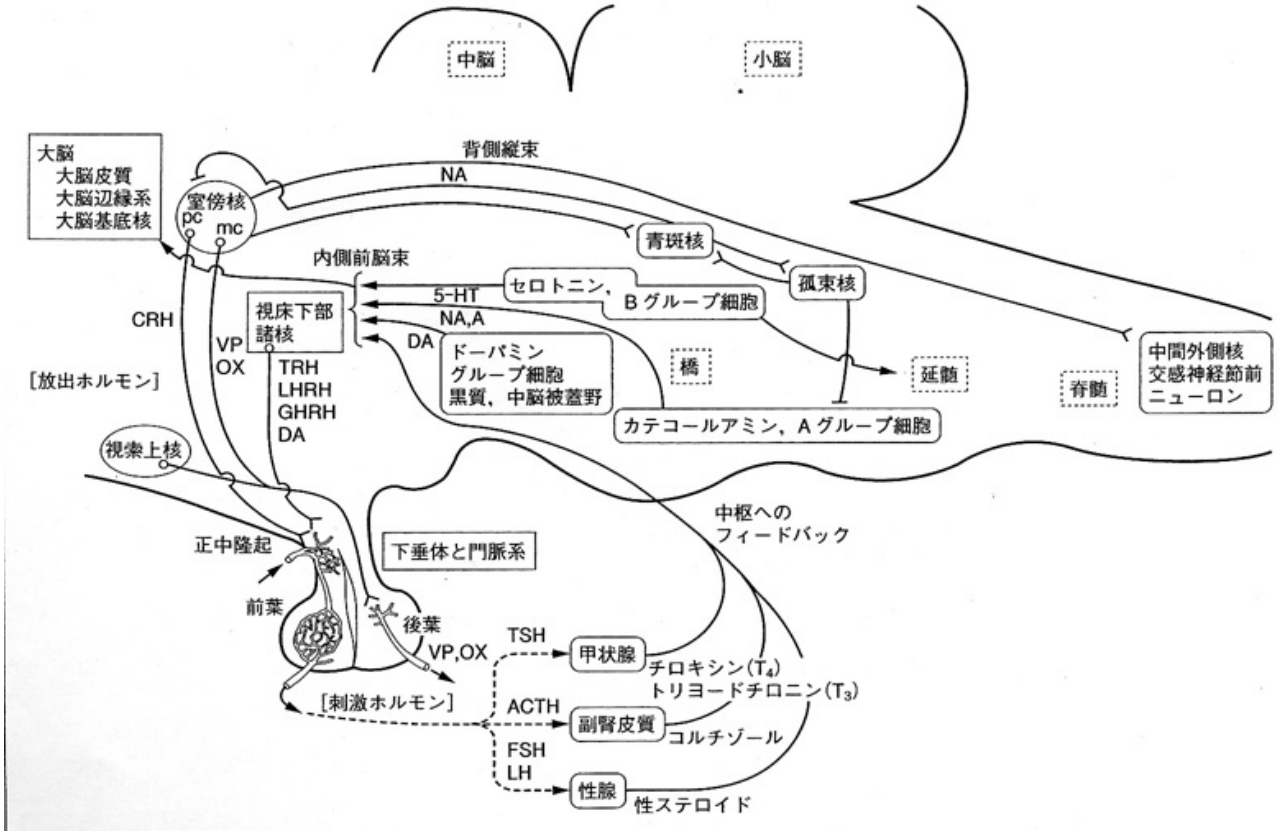
このような性的二形核は、ヒトでも存在し、男性の mPO A は女性のそれよりも多数の神経細胞を持っている。興味深いことに、男性同性愛者では、この性的二形核の大きさが女性並みに小さく細胞数も少ないと報告されている [LeVay, 1991]。動物の性行動は複雑な要素を含んでいるが、基本的には脳の性差を反映しているといって差し支えないであろう。これまで、mPOA の他に、視床下部の前腹側室周核（AVPV)、弓状核、腹内側核、大脳皮質の左右をつなぐ脳梁や脊髄の前角（腰部運動ニューロンを含む）などに性差のあることが報告されているので、アンドロジェンがいかに脳の発達過程に大きな影響を持っているかがうかがわれる。

摂食調節の神経回路

視床下部内の神経機構についてはいまだ不明な点が多いが、その中で、摂食調節の神経回路は最近の研究により飛躍的に解析が進んでいる。長い間、視床下部には外側野 (LH) と腹内側核 (VMH) に、それぞれ、摂食中枢 (feeding center) と満腹（または肥満）中枢 (satiety center) が存在するとされ、LH に存在するグルコース感受性ニューロン（グルコースにより抑制される）と、VMH のグルコース受容ニューロン（グルコースにより活性化される）により摂食が調節されると考えられてきた [大村と坂田、1996、参照]。しかし最近になって、多数の摂食関連ペプチドが同定され、この概念は次第に変化している。以下に詳しく述べられるように、視床下部は脂肪細胞から分泌されるホルモンであるレプチンや血中グルコース濃度、さらに迷走神経などを介して体内のエネルギーバランスの情報を得る。一方外界からの食物関連情報（視覚、嗅覚、味覚など）は大脳新皮質から海馬、扁桃体などの大脳辺縁系に送られ、情動記憶や好悪の評価が付け加えられて、視床下部に送られてくる。視床下部の摂食に関連するペプチドニューロンはそれらのさまざまな情報を統合し、食欲、摂食行動、消化管機能などの摂食関連機能を駆動すると考えられる。これは極めて単純化した図式（図３９、図４０）であるが、このように考えると、視床下部が高次脳機能と生体内液性および神経性情報を結びつけて、双方（脳と自律調節系）に出力する部位であることがよく理解できる。

＄（図３９、図４０）

視床下部には摂食を促進する因子として NPY(neuropeptide Y、ニューロペプチド Y)、ORX (orexin、オレキシン)、MCH (melanin-concentrating hormone、メラニン凝集ホルモン)、AgRP(agouti-related polypeptide)、ghrelin などが明らかにされて



（図３８）図８－２５－１：脳内液性伝達系。　脳・精神機能の障害の研究のためには、脳を神経回路網の集合体として見ると共に、自律神経系や内分泌系を含めた液性調節系として見ることが大切である。とくに、本書では考察の対象外としたが、将来的に、児童の発達障害や人格障害の神経・精神学的知見と関連づけられるかどうかが問われる重要な課題である。

注：A]：視床下部ホルモンには、黄体形成ホルモン放出ホルモン (LHRH) あるいは性腺刺激ホルモン放出ホルモン（GnRH)、甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン (TRH)、副腎皮質ホルモン放出ホルモン (CRH)、成長ホルモン放出ホルモン (GHRH)、およびソマトスタチン、プロラクチン［放出］抑制ホルモン (PIH) などがある。

B]：下垂体前葉（腺下垂体）ホルモンには、性腺刺激ホルモン（黄体形成ホルモン /LH　と卵胞刺激ホルモン / FSH を併せて gonadotropin/Gn という)、成長ホルモン（GH)、甲状腺刺激ホルモン（TSH)、副腎皮質刺激ホルモン（ACTH)、乳腺刺激ホルモン（プロラクチン)、および β - エンドルフィン、?- メラニン細胞刺激ホルモン (?-MSH) などがある。

この他に、内分泌機能を持つ室傍核および視索上核内の大型ニューロンで合成され、軸索内を輸送されて下垂体後葉（神経下垂体）の血管に放出される、バゾプレッシン (vasopressin, VP or antidiuretic hormone, ADH：昇圧作用および抗利尿作用を持つ) とオキシトシン (oxytocin,OXY：子宮筋の収縮および射乳作用を持つ) がある。前葉ホルモン分泌系の下垂体門脈系に対して、後葉ホルモン分泌系は視床下部神経分泌系あるいは視床下部下垂体系と呼ばれる。

[精神医学テキスト、川村、2000、図 I-17（本書の図３８）を参照]

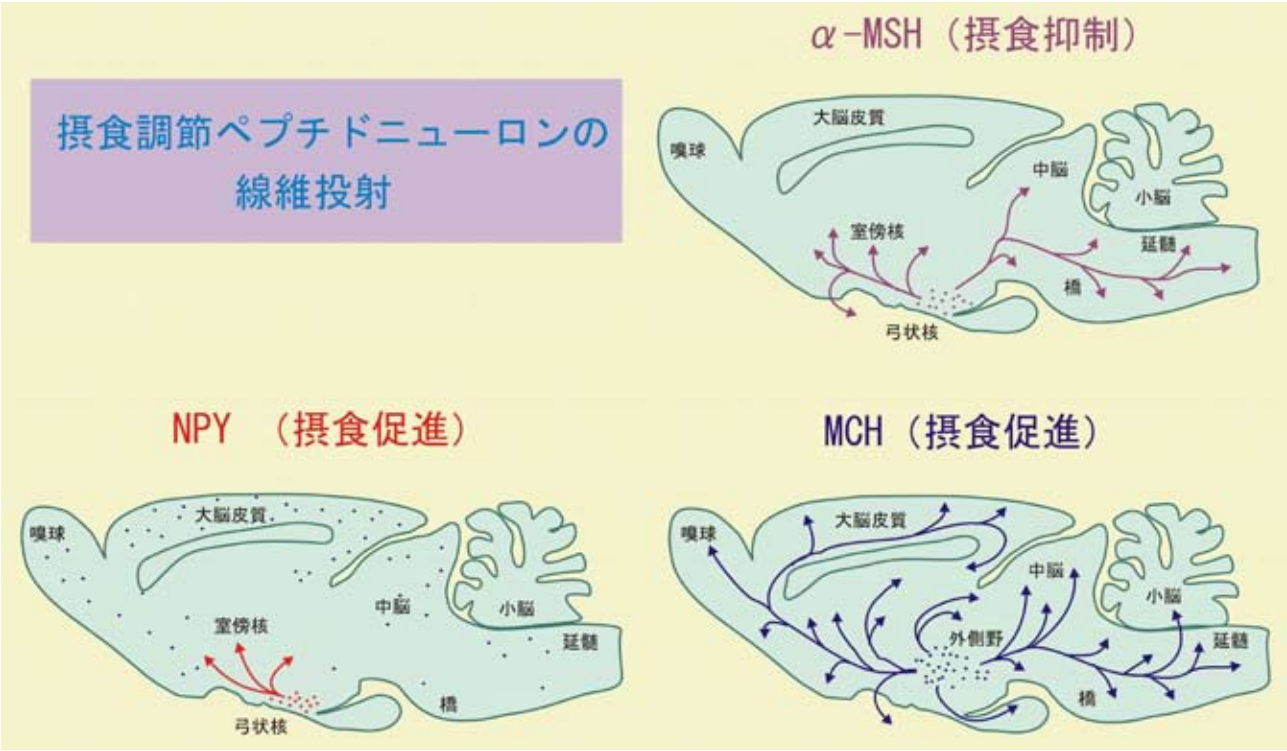
注]：ヒトは胎生 7 週頃まではからだは性的に未分化の状態にある。そして、性腺の分化は第 8 週に精巣（男性）が、第一 0 週になって卵巣（女性）が開始される。次いで、輸管系の性分化（第 9-10 週)、外性器の性分化（第一 0-20 週）が起こる。いずれも精巣から分泌されるホルモン（各種男性ホルモンを総称してアンドロジェンという）が性分化の鍵を握っており、これにさらされると男性（オス）型に、さらされないとそのままに女性（メス）型となる。時期的には前者がより早く分化する。実は脳にも性分化が認められており、アンドロジェンが脳内でアロマターゼ（芳香族化酵素）により芳香化されてエストロジェンとなり、エストロジェン受容体を介して脳を男性化させることがげっ歯類で示されている [MacLusky and Naftolin, 1981; Cooke et al.,1998]。この時期はヒトで胎生第二 0 週以降と言われている。女性（メス）では母体や卵巣などのエストロージェンがこの時期に肝臓が合成する α フェトタンパク質に結合されて脳内に入らないので、このホルモンの影響なしに脳がそのまま成長すると言われている（アロマターゼ仮説)。

いる。反対に摂食を抑制する因子としては CRH （副腎皮質ホルモン放出ホルモン、室傍核にみられる）、TRH(甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン)、α -MSH (α -melanocyte stimulating hormone, α 色素細胞刺激ホルモン、弓状核にみられる)、CART(cocaine- and amphetamine-regulated transcript) などを含むニューロンが明らかにされている。とくに最近注目されているのは MCH で、その細胞体は視床下部外側野にのみ存在するが、大脳皮質から脳幹にいたる広い範囲に投射線維を与えている [Bittencourt et al.,1992]。その特異的受容体は弓状核、腹内側核などの視床下部の他に、扁桃体 BL 核、側坐核殻部（shell）などに存在することが Saito ら (1999) により証明された。また、げっ歯類の側脳室内に MCH を微量注入すると摂食が促進され [Matthes et al.,1996]、逆に MCH 欠損マウスでは摂食が抑制される [Shimada et al.,1998]。なお、MCH の広範囲にわたる投射系からみて、その機能は摂食作用に限らず、広く自律機能に関与するものと考えられる［Kawano et al.,2002］。多様なペプチド / ホルモン・ネットワークによって構成されている視床下部内の摂食調節機構に対して、抑制系のセロトニンやヒスタミン、促進系のノルアドレナリンがさらに広範な制御を行なっている。また、遺伝性肥満マウス (ob/ob) の病因遺伝子 obese gene の産物であるレプチン (leptin、痩せる) [Friedman and Halaas, 1998] は、脂肪細胞から分泌されるホルモンで摂食を抑制する。

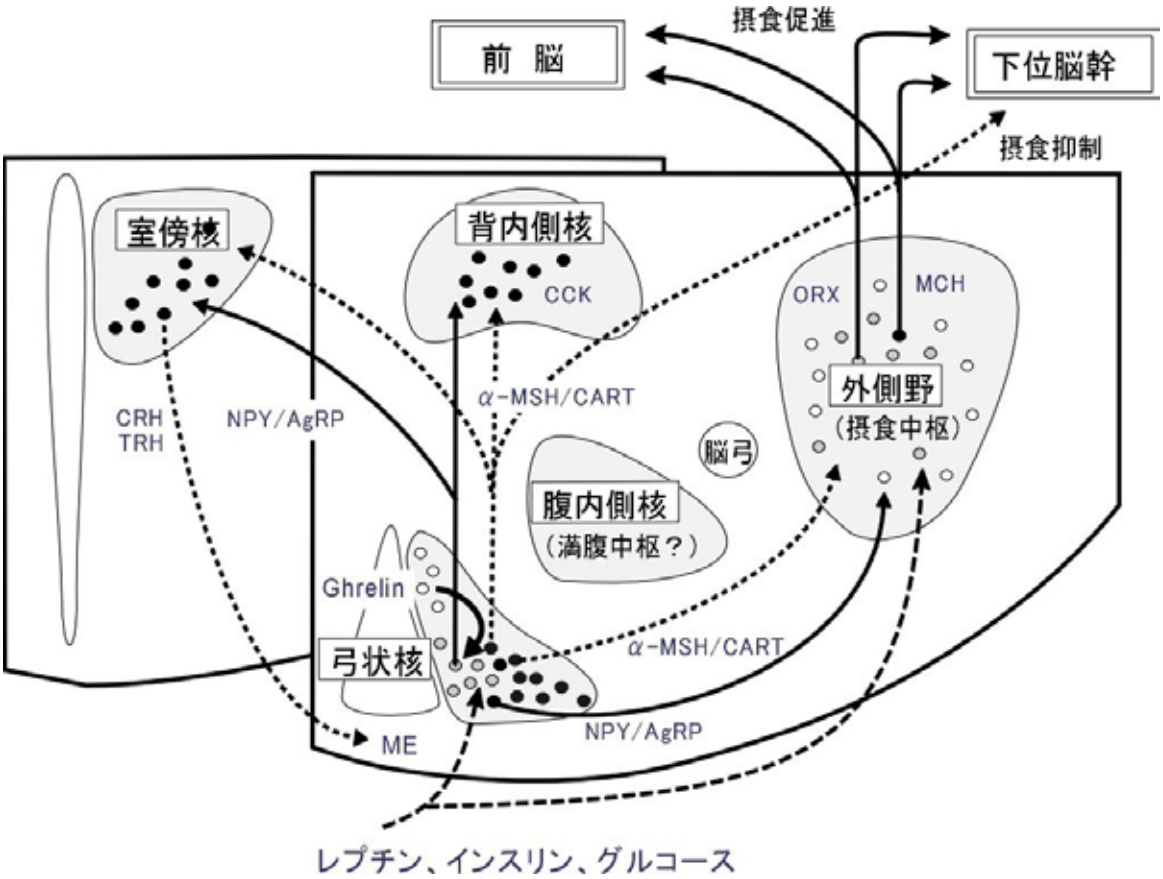
なお臨床上、摂食障害 (eating disorder) として、神経性食欲不振症 (anorexia nervosa) と神経性過食症 (bulimia nervosa) が認められる（後述、２６節）。

多様な視床下部のはたらき

脳のモノアミンニューロン系もまた、生体の自律調節の中枢である視床下部の機能に深く関与している。たとえば、下位脳幹縫線核のセロトニンニューロンは生体リズムの中枢である視床下部の視交叉上核に豊富な線維投射を持っており [Steinbusch, 1981]、セロトニンの覚醒・睡眠に対する作用は視床下部の機能と密接に関連している。さらに、ドーパミン線維とセロトニン線維は共に内側前脳束を上行し、視床下部外側野を通過するが、この部の軸索分枝により、これらのモノアミンが視床下部機能に影響を与える可能性が指摘されている。視床下部外側野を破壊すると摂食が低下するため、この部位は以前より摂食を促進する中枢であると考えられきたが、最近になって、ORX や MCH などの摂食を促進するペプチドを含むニューロンが外側野に局在することが明らかにされた [Bittencourt et al., 1992]。人を含むすべての動物で食物が必須の報酬刺激であることを考えると、報酬系で重要な働きを持つドーパミンが視床下部の摂食調節機構となんらかの関係を持つと考えるのは当然である。なお、



（図３９）図８－２５－２：摂食調節ペプチドニューロンの脳内分布と線維投射。摂食抑制（α -MSH）と摂食促進（NPY, MCH）ペプチドニューロンについて。その分布状態から単なる摂食調節の機能を超えて自律系、情動系に深く関わる機能に参与していることは明らかである（東京都神経研　川野氏提供）。



（図４０）図８－２５－３：食欲中枢（摂食中枢と満腹中枢）が視床下部の外側部および内側部にそれぞれ存在し、グルコースによって特定部位のニューロンが抑制あるいは活性化されるという従来の定説は改定されつつある（東京都神経研　川野氏提供）。

ORX の投射域も、小脳を除く中枢神経系全体にわたっており、神経分泌、体温調節、覚醒・睡眠サイクルなどへの関与が強く示唆されている。因みに、昼間、過度の眠気と情動脱力発作を起こす " ナルコレプシー " の病態生理は、ORX の神経伝達の障害による。

実際、ラットに食物を提示すると、前頭皮質や側坐核でドーパミンが放出されることが知られている [Ahn and Phillips, 1999]。視床下部外側野の MCH ニューロンはこれらの部位にも多くの線維を送っており [Bittencourt et al., 1992]、また MCH に対する受容体も側坐核の shell や大脳新皮質の錐体細胞に多いことが報告されている [Saito et al., 1999] ので、これらの領域でドーパミンと摂食関連ペプチドが作用を及ぼし合っている可能性がある。

摂食は基本的には体内のエネルギーバランスによって調節されているが、さらに外からのさまざまな刺激やストレスによって左右されることは、われわれの日常生活でもよく経験するところである。それらの刺激は大脳新皮質から大脳辺縁系（海馬や扁桃体）を介して視床下部に伝達されるが、同時にモノアミンニューロンによって、より強い情動刺激として摂食調節機構に影響が与えられている。

視床下部の主要な機能の 1 つである生殖機能にも、モノアミンは関係している。動物にとって異性が報酬性刺激であることを考えると、側坐核や視索前野 (preoptic area, POA) に軸索終末を送る A10 ドーパミンニューロンが性欲と関係することも当然と考えられる [Mitchell and Gratton, 1994; Fiorino and Phillips, 1999]。しかしながら、摂食調節機構にくらべて、性機能調節の神経回路はいまだ不明な点が多いことから、モノアミンニューロンによる性機能への調節機構は十分には解明されてはいない。

このようにみてくると、モノアミンニューロンの機能は多様であり、一見それらの間には機能的な関連がみられないように思えるが、実は視床下部においても、ストレス応答、性機能、摂食などは互いに機能的な相関を持っていることが最近明らかになった [Dueck et al., 1996]。たとえば、視床下部室傍核の CRH ニューロンは下垂体前葉の ACTH を分泌させ、副腎皮質からのグルココルチコイド放出を促進し、ストレス応答に重要な働きを持つが、CRH は脳内で強力な摂食抑制作用を発揮する。さらに、室傍核には性ホルモンであるエストロジェンに対する受容体（エストロジェン受容体 β）が発現し、エストロジェンはこの受容体を介して CRH の分泌を調節していることが明らかにされている [Isgor et al., 2003]。また、強力な摂食促進作用を持つ弓状核内の NPY ニューロ

ンはグルココルチコイド受容体とエストロジェン受容体αの両方を持っている [Hisano et al.,1988; Sun and Yu, 2000]。さらに、NPY ニューロンは室傍核に軸索終末を送り、CRH の働きを抑制することで摂食促進に働くと考えられる。このように、ストレス応答〜性機能〜摂食調節は互いに影響しあい、協調して調節を行なっている。これらの視点に立った神経・精神活動の病態研究とそれに対する治療策の立案が期待される。

26 節　ファゴスとエロス

食欲、性欲、生存欲

視床下部の情動機能はより高位の脳部位によって神経性に制御されている。これまで見てきたように、視床下部には①大脳皮質とくに前頭葉（前頭前野､補足運動野)、②扁桃体、③海馬、④脳幹から多種多様な情報が運ばれてくる。外界からの刺激に対して､それらが動物(生物体)にとって益になるか害になるかの価値判断を扁桃体が行なっている。益になると判断されるときには生体に快情動が起こり、反対に害と判断されるとそれは不快情動を伴う。

脳幹レベルでの情動的判断は、延髄から視床下部にわたって分布するドーパミン、ノルアドレナリン、セロトニン、ヒスタミン、アセチルコリンなどを産生する種々の神経細胞と脳幹内に分枝を与えながら前後の方向に走る内側前脳束（medial forebrain bundle）や背側縦束（dorsal longitudinal fasciculus, Sch?tz 束）などの軸索集団の働きの総和に基づくものであろう。その結果、動物は対象に対して、接近行動や逃避行動や攻撃行動を行なう。食欲、性欲、生存欲などの「動因」が生物体の内的欲求として存在するときには、食物（餌)、異性、水、敵･味方など、その「誘因」となる対象にたいして適切な行動選択がなされる。動物には反射的行動しかとれないものから、一段と発達・進化した行為が可能なものまでさまざまである。

業か煩悩か

発達した動物の脳内には、おそらく海馬の「記憶機能」の助けを借りて、扁桃体が演じる「判断機能」を支える何らかの機構が備わっているように思われる。これらの内､「高次」と言われるものとしては、金銭欲、支配欲、名誉欲などと呼ばれるものがあり、前頭葉皮質とくに前頭前野が関わる「社会・生物学的」レベルのものである。

大脳皮質 ‐ 視床下部神経路が上述の価値判断に参加することによって「より高次の」行動のパタンが選定される。このレベルでの「価値判断」を支える根拠として使われるものは、「海馬が関連する」記憶から一段と発展した「大脳新皮質が関与する」記憶であることは､認知･認識の項で生物学的に考察したことによっても明らかであろう。

皮質レベルにしろ、皮質下レベルにしろ、動物が判断し行動に移るまでの過程には上述の視床下部求心路が関連し、判断結果を行動に移す形態基盤には、「運動に関連する視床下部遠心路」とくに脳幹・脊髄内の運動神経細胞に軸索終末を送る視床下部･被蓋線維、視床下部（室傍核や外側部から）・脊髄路、網様体・脊髄路などの下行投射路が関与する（佐野、2003、参照)。この方面のさらなる研究成果に俟たなければならない。

自律調節的機能を知的活動に高める

一般的に視床下部のもつ本能あるいは自律調節に関する機能は、ややもすると「低次」の脳機能とみなされている。「低次」/「高次」の問題はさて置き､これに対して、大脳新皮質が著しく発達した動物、とくにヒトにおいて視覚･聴覚系の機能発現がみられ、その知的活動が文化･芸術の精神領域に関わりを持つようになるとき、そこに能動的性格を持つ豊かな演出が､logos(知)と pathos(情)との共演として高度に表現されることになろう。しかしながら、嗅覚･味覚系の機能発現と連係した phagos（食）と eros（性と愛を混交して使用）のような元々視床下部によって演出される本能的、根元的な生体機能が、ヒトにおいては知的な芸術的レベルにまで昇華されて、「食」の文化や「恋」と「愛」の文化を築き上げている。このことは下位の脳が、思考や判断のような高次神経機能に強い影響を与え得ることを示している。その際、視床下部のさまざまなペプチドや下位脳幹のモノアミンが大脳皮質に働きかける役割を担っていることになる。

神経性伝達と体液性伝達

精神機能と内分泌とが関連していることは古代ギリシアの体液説のころから注目されてはいたが、近年、キャノンらのホメオスターシスの概念やパブロフの条件反射学などが神経生物学や医学の分野に導入されるにつれて、精神医学の領域においても新たな認識が得られるようになった。気分･情動の変調、意欲の低下、食欲、性欲、覚醒・睡眠のリズムの異常などが多くの慢性内分泌障害患者に見られる。

内分泌系は生体内のさまざまな情報を処理しつつ複雑な統合作用を営み、ストレスへの応答にも重要な役割を演じている。そして自律神経系と相呼応して、生体の内

部環境の維持（ホメオスターシス）に大きな役割を演じている。そしてその中枢は視床下部－下垂体系にあり、副腎皮質（hypothalamo-pituitary-adrenal 系、HPA）、甲状腺（hypothalamo-pituitary-thyroid 系、HPT）、性腺（hypothalamo-pituitary-gonadal 系、HPG）など末梢の内分泌器官を支配している。なお、視床下部ホルモンおよび下垂体ホルモンについては 25 節を参照されたい。

これらの液性の内分泌調節系、とくに性ホルモンの影響は、前述（25 節）した脳の性差を基本的に反映して、性行動（生殖､育児､広くは社会的振舞など）に現われる。ここでは内分泌精神医学という分野には深くは立ち入らないが、女性に起こる月経周期や生殖過程に関連した精神障害、妊娠や産褥に関係した精神障害はこの軸（axis）に沿って見られる異常現象である。思春期、更年期、老年期など人生の節々におこる身体および精神の機能変調は基本的には内分泌・自律神経系に基づく環境 (内部および外部の) 適応の障害として捉えられる症状である。なお視床下部への自律神経系入力に関しては、ほとんどすべての感覚をあげ得るが、その中で最大のものは内臓感覚を含めての体性感覚であろう。ここで強調しておきたいことは、動悸、血圧上昇、立ちすくみ、発汗などの自律神経反応ないし反射を惹き起こす情動表出の問題である。その自律系反射は､視床下部を " 最高中枢 " として、ここからの神経線維の連絡系として、延髄の迷走神経背側核や孤束核などに室傍核 (PVN) からの投射が行なわれている他、液性（ホルモンや伝達物質）系としては、脳下垂体への流れがある。この系を衝く視点は今後更なる研究において期待される重要な点である。

動物の行動を支配する視床下部

身体末梢部から視床下部領域へ至るシグナルはニューロン網を介する神経性伝達と、循環血流を介する体液性伝達による。個体および系統発生学的にみても、また解剖生理学的にみても、その上位にある高次の中枢は大脳辺縁系（扁桃体、海馬、帯状回など）と、さらに大脳皮質連合野（とくに前頭前野）とに在り、連合野・辺縁系・視床下部の間の相互関連性から判断しても、意志（voluntas)、感情（pathos)、理性（logos)、愛（eros）などが色濃く影響を与え、動物の行動を支配することになろう [Vincent, 1993 参照]。

うつ病・自閉症・パニック障害

精神病と神経疾患にはいまだ原因や発症のメカニズムが不明なものが多いが、大脳皮質の機能に変調を呈しているような疾患においても、ホルモンやモノアミンニューロンの異常が関連すると考えられるものが多い。たとえば、統合失調症、うつ病、自閉症、注意欠陥多動症候群 (attention deficit hyperactivity disorders , ADHD)、パニック障害、PTSD などである。その中でも、最近患者の増加が著しい摂食障害は脳幹におけるモノアミン投射と多数のペプチドを含む視床下部の両方に深く関連する精神疾患とみなされている。

臨床精神医学の場での摂食調節障害として、過食と拒食がしばしば問題となるが､従来､過食症（神経性過食症、BN：bulimia nervosa）は摂食中枢の過度の興奮ないし促進として、拒食症（神経性食欲不振症、AN：anorexia nervosa）は摂食中枢の過度の抑制ないし満腹中枢の促進として生理学的に捉えられてきた。つまりは、摂食調節中枢のアンバランスである。すなわち、前述の摂食調節機能に関連する、種々の促進および抑制のホルモンとペプチドの相対的な作用による。臨床的には、摂食障害者は痩せることを目的に食べ物（カロリー）にとらわれ懸命に運動に励むなど、強迫的な中核症状を認めることから強迫性障害 (Obsessive Compulsive Disorder, OCD) に類似した不安障害の一つとして考えられている。しばしばうつ状態を伴いセロトニン神経系の機能低下が想定されている。

なお、セロトニンはドーパミンと異なり、かなり強力な摂食抑制作用を持っている。選択的セロトニン取り込み阻害剤（SSRI）はシナプス間隙のセロトニン濃度を上昇させ、セロトニンの作用を増強することで抗うつ剤として用いられるが、同時にやせ薬として服用する人もいる。最近、SSRI のひとつであるフェンフルラミンが視床下部弓状核内に存在する摂食抑制ペプチド α -MSH を含むニューロンを興奮させることが報告された（Heisler et al., 2002)。近年､欧米や日本で多く見られる摂食障害（神経性食欲不振症や過食症）はうつ症状を併発するケースが多く、その発症のメカニズムにセロトニンの関与が指摘されている。

27 節　情動機能の進化

コミュニケーションの手段としての発声器官の精緻化

ここで、視覚および聴覚刺激に関連して、一部認知機能を含めた情動の問題を進化の立場から論じてみる。広く動物界でみられる現象に類似性があるかどうかをみた場合に、それ自体ではなんらの意味を持たないかに思える、たとえば単純（突発）音が特定の意味機能を担うことが

ある。サルが「キー」とか「パン」とか発声して危険（警告）音として仲間に知らせるといった事例がそれである。この、自己を危険から守り、かつ逃避する際に発する音声は仲間同士の間のコミュニケーションの手段をなすものであり、同種のサル（たとえばクモザル）達は、この音声に対して、かつて自分自身が応答したものだけに選択的に反応するという。

このように音という媒体を用いて、これに特定の意味機能を持たせるために動物は発達した喉頭内に、より精緻な声帯器官を持つようになり、連続音／混合音／自然音を多用するようになる。そして、ヒトになると、色々な種類の声を出せるようになる。声は声帯で作られた空気の振動そのままではなく、咽頭を通って口腔と鼻腔に伝えられ、そこで共鳴されて生まれるものである。従って、声は、人間の場合でも、サルにみられるようにコミュニケーション、つまり何かを伝達したり表現したりするための手段であり、そのための道具がこのような発声器官である。

楽器としての発声器官

今日では、たとえば、人間の声による音楽（声楽）と楽器による音楽（器楽）とをはっきり分けて捉えるが、声の器官による音楽も、というよりも、かつては人間の声の（器官による）音楽こそが、今日風に言う器楽であった。要するに声楽家の発声器官がまさに楽器そのものであるわけで、中世ヨーロッパにおいては実際に楽器（instrumentalium）のひとつとみなされていたのである。それは、楽器と訳される instrumentalium が本来は何かの容器を意味するからであり、音（楽）という意味情報を容れる器のひとつが人間の発声器官であるからである。無論、中世には今日のような音声学は存在していなかったが、それでもなお、音＝声＝意味＝情報およびそれを可能にし具体化する器官に対する認識はむしろ今日以上に正確であった。

動物界や人間の原始社会にみる芸術の原型

また、別の例をあげると、蛾が鳥に襲われたときに、羽を広くひろげて「目玉模様」を突如として表出させ、相手を一瞬驚かす。これも身の危険から逃避する際に動物が行動を現わすために用いる、単純化された色彩の表出（現）と言えよう。さらにまた、これにきわめて類似しているが、海中で群遊する小魚に下方向から大きな魚が小魚を捕らえて餌にしようとして襲うときにみせる前者の反応がある。小魚の群は示し合わせたように（同時に）、瞬間的に、不連続的に、白い腹を反射によって輝かせて体をひねり、ひるがえして、方向を変えて逃亡する。

このような下等動物にみられる原始的行動に伴う音や色を用いた単純反射が人間にも本性として備わっていることは、原始社会における危険を知らせる鋭い音や、共同作業への単純な呼びかけ音（声）－「ヤッホー・エッサー」－などの使用からして明らかである。ゴリラがコミュニケーションの一手段として用いるドラミングの旋律は、それがそのまま黒人の踊りや歌にとり入れられたかと思えるほどに音楽的である。人間の場合には、ただし、このような直接的、直情的な声の役割に並行して、それが感性的に磨かれることによって感情・情緒の表現形態として利用されることもある、もしくはそれを利用すべく磨き上げる術を知ってはいる。ここにもいわゆる、音を素材とした芸術、すなわち、音楽への原型をみることができよう。これは、生活の糧を狩猟や漁労から得ていた古代人が、危険や害毒や悪魔から共同して身を守る手段として描いた（たとえばスペインのアルタミラ）洞窟の壁画にみられる原始美術の誕生とも軌を一にするものであろう。すなわち、一方ではたとえば自己に危険をもたらす動物を描くことによって客観視し、自分に向かって来るときの動物を前にした、或る動物と自己との直接的関係を客観化させることによって､そこに当の「動物」なり、それによる「危険」なりを客体として概念化させる。また他方ではこれと同様なことを声の「経験」として客観化・概念化することによって、或る特定の人間が身をもって味わった「経験」を、第三者である他者に自己の「経験」として表現し、併せてそれによって更なる他者である聴き手にこの「経験」を伝え､共に「経験」させることを可能とする。このような、いわば第一次的な生の経験が昇華されてはじめて芸術は成立すると同時に、そのような昇華なり客体化なりの志向が、人間の生体的器官の発達を促してきたと考えられるのである。

28 節　精神活動としての情動機能に関するいくつかの問題

情動と認知の一体化にふみこんだ研究の重要性

ここで、以下に３つの問題を提起したい。第一に情動を今の時点で研究することの重要性について。脳の高次機能は大別して認知機能と情動機能に分けられるが、前者に比して後者の研究が国際的に立ち遅れている。と共に、認知と情動を今日一般的に行なわれているように截然と区別し得るか否かへの疑問の提示はきわめて重要で

ある。人間に限らず、広く動物の行動、認知・認識の経緯およびその結果の表出の仕方には、これまでの記述からも明らかなように、情動が深く関わっているばかりでなく、たとえばことばは音や響きの空間、情動等が渾然として一体をなし、その一体性を俟ってはじめてことばとして機能するからである。当然のことながら、脳の器官・形態・機能への医学的・科学的研究はこの認知・情動の問題と切り離され得ない。

生物学的共通の基盤に立ったヒトにおける情動機能の研究

第二に、あらゆる動物に情動機構は備わっているが、その脳の発展段階に応じて発現・表情発露が当然のことながら異なること。最も明瞭で本質的な相違または区別は、信号の信号化（パブロフ）の機構を基礎に物事の概念化、抽象的認識すなわち思考を可能にした言語を有している動物（すなわち人間）と有していない（そこまで脳が発達していない）動物とを分けて考える必要がある点である。同時に、しかし動物は環境との相互作用を通じて進化してより高次の機能を獲得して発展してきたものであるから、動物一般のもつ基本的、根源的な面から研究を進めることも不可欠である。人間と他の動物との区別と、人間と動物の共（通）基盤性は無論のこと相互に矛盾する二つの事柄をなす事象ではなく、深く共鳴しつつその根幹において渾然として融合する、一根双樹の系をなすものとして捉えられるべきものである。

「脳と心」の科学的研究

第三に、脳機能を能動的面からみた時の、いわゆる精神（＝心）の正常と異常の問題である。この側面の科学的研究は最も立ち遅れており、現在良識ある研究者が苦心して陣地を構築中である。いわゆる「脳と心」の問題であり、同時に「文化・芸術」の領域にも深く関わる問題である。とくに芸術は人間の幅広い表現意欲・活動を象徴するものであり、かつまたその本質において人間を教導するものである故に、認知、情動、意欲を包括する脳の高次機能の研究には欠かせない鍵を持つものであり、脳と芸術（音楽や美術）についての今後の科学的研究の発展とその深化が期待される。とくに芸術は脳機能ないしは人間の精神活動の様相を映し出す鏡でもあるだけになおさらである。

たとえば、いわゆる精神病と、これもいわゆる正常な精神活動を取りあげてみた場合に、人間の精神の働きの「正しさ」によって表現されたものによって、表象（イメージ）像の「正しさ」も保証されると判断されるからであり、このような「正しさ」によって人間は他者を教育したり、感動させることができると考えられるからである。精神（心）の正常と異常は一般の人間と病人の関係においてだけ重要なのではなく、広く人間の社会・世界の「正しさ」に関わるものでもあることは意識されるべきである。このことの一例として、「精神の障害」の問題について、さらに情操教育を含めて広く「教育」をいかに科学的に捉えるかもまた問われなければならない。

29 節　マクリーンの「三位一体脳仮説」

マックリーンは、辺縁皮質およびそれと結合している皮質下組織を辺縁系（limbic system）と呼び、情動および内臓機能に関与する一つの機能系とする概念を提唱した [MacLean, 1954]。彼はまた、辺縁系が自律機能に密接に関連しているので、これを内臓脳（visceral brain）とも呼んだ。マクリーンのモデルにおける情動発現のセンターは広義の " 海馬体 "（海馬回、歯状回および扁桃体を含んだ領域）である。海馬体からの出力は視床下部を介して情動反応と自律反応を発現させるとした。
また、マクリーンは恒温動物の脳に階層性（ヒエラルキー）を想定し、３型から構成されるシステムを提唱した [MacLean, 1973,1982]。いわゆる三位一体脳 (a hierarchy of three brains in one—a triune brain) 仮説と言われるもので、原始爬虫類脳（protoreptilian brain）、旧哺乳類脳 (paleomammalian brain) と新哺乳類脳（neomammalian brain）である（図４１）。原始爬虫類脳は、脳幹、間脳および基底核よりなり、旧哺乳類脳は辺縁系に相当し、新哺乳類脳はこれに加えてさらに新皮質を持っている。ここに、動物の古い脳の上に新しい脳が付加されるという進化の方向の道筋と人間の精神の構成の生物学的基盤が示されている。
＄（図４１）

原始爬虫類脳

原始爬虫類脳 (reptilian) は、原始的な学習や記憶に基づいた、型にはまった行動を司る。そして、この行動は個体維持と種族保存に基本的なものである。魚類や爬虫類では、大脳基底核を最高の行動運動統合部位とする形態にとどまり、大脳皮質は未発達である。これらの動物の行動反応は辺縁系と視床下部で開始され、そのパタンは柔軟性に乏しいステレオタイプ型である。パブロフ流に言えば、無条件反射の体系によって行動する段階である。

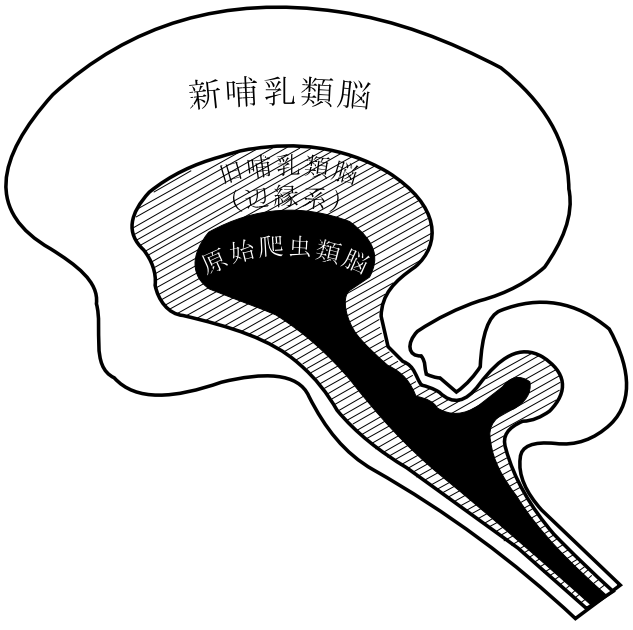
考えてみれば、感覚入力としては、嗅覚の入力のみが

前脳の一部の嗅脳と原始的な辺縁脳に直接なされるが、味覚、触・圧覚、平衡覚、視覚、聴覚などは、脊髄・脳幹レベルでの反射機構で処理され、能動的出力（または統合中枢）への仲介は原始的な大脳基底核と視床・視床下部でなされることになるであろう。ここで言う基底核は、運動系の他に原始的な側坐核や扁桃核を含んだ未発達段階の構造物と考えられる。

旧哺乳類脳

旧哺乳類脳 (paleomammalian) は哺乳類において初めて発達した。この脳には情動の座があり、型にはまった原始爬虫類脳の働きを、ある程度、柔軟に制御している。げっ歯類や下等哺乳類でも辺縁系と視床下部が反応発現の主体となっている。辺縁系と視床下部は行動発現の開始部位の一つである。すなわち、「情動過程」そのものに基づく行動発現と結びついている。この段階の動物は、人間にみられるような新皮質その他の高次機能と情動との関わりは未だ存在しないにせよ、今日の、ホモ・サピエンスとも共通した情動の原型を明瞭に持っている。また、パブロフの条件反射学説に従えば、第一信号系による反射活動の体系が備わる段階と言える。

今の神経科学の目でみれば、この旧哺乳類脳の一部に古い皮質から発生した､爬虫類にみられる新皮質（general cortex）が領域的に広がり、大脳感覚野や側頭葉を主体とする後連合野からの辺縁系脳部位に対するコントロールが見られる段階、と言うことになろう。



（図４１）図８－２９：「三位一体脳」説あるいは「三型階層性脳」説といわれる、進化する脳の階層性（ヒエラルキー）を説明する模式図。哺乳類前脳が進化の過程で一部がヒトの脳に継承される。辺縁系ないし内臓脳は旧哺乳類脳に相当し、情動機能に関与する。（MacLean, 1973）。

新哺乳類脳

新哺乳類脳 (neomammalian) は高等哺乳類においてみられる。発達した前脳の外被である新皮質は、外界環境因子をクールに分析し、高度の精神活動を行なう。霊長類になると、大脳皮質（とくに感覚野と連合野）、小脳半球、大脳基底核が著しく発達し、ここに行動発現に対する「認知過程」が強く関与してくる。この過程で、道具の使用を学んだサルたちが表象能力、すなわちかつて知覚されたことのある像を、その対象が現に感覚器官に与えられているという条件がない場合にも再生（ないし再現）する反映能力を持ちはじめる。新皮質と辺縁系との相互連絡は動物が高等になるにつれて発達し、とくに側頭連合野・前頭前野と辺縁系構造物（海馬、扁桃体、視床下部を含む）との間の線維連絡は密になり（川村、1977; Van Hoesen, 1982）、情動行動とその基盤はさらに複雑になり、質的にも異なる、より発達したものとなる（後出、30 節、図４４，４５参照）。

サルからヒトへの大脳皮質言語野の発達については後述する（川村、1977, 1993, 1999a; 後出、47 節、51 節　参照）。ともかくもヒトでは新たに言語野が発達し、個体および集団間のコミュニケーション手段として言語を操ることになる。つまり、抽象概念を用いた思考が可能となり、情動状態を自省し、洞察できるようになる。言語はいわゆる第二信号系であり、特定の生物学的刺激および対象的経験に縛られている感覚信号系とは区別される。言語活動の発達について語るとき、単なる脳の構造、回路網や DNA 決定論を機械的に適用することなく、DNA の 設計図をベースとしてその上に発展・成立したヒトの社会性、すなわち、個人と集団との相互関係について注目しておくことが大切である。このように意思疎通の手段としての言語が形成された段階までくれば、人間による環境の反映、すなわち人間の意識が自分を取り巻く自然や宇宙という物質的世界とどう関わり合っているのかを考えることができる。それは、脳の発達の成果であると同時に、その脳を持った動物の社会生活の発展の産物でもある。後の項（39 節）に述べる、このようなホモ・サピエンスにのみ見られる、情動の認知、こと

注：高等哺乳類（サルやヒト）におけるような高次の認知・情動に関する研究はできないが、げっ歯類（ラット）にも前頭前野は存在し、形態的にも機能的にも分化しており、実験動物モデルとして用いられている。すなわち、ラットの前頭前野は内側部（下辺縁系皮質と前辺縁系皮質、infralimbic and prelimbic cortex）と外側部（無顆粒島皮質と眼窩野外側、agranular insular cortex）に大別される。実験結果から各々霊長類の前頭前野背外側部および眼窩部に相当すると考えられている。

ばの最も深い意味における、言語（を中心とした表現活動）による他者とのコミュニケーションという、人間としての存在の証をなす、これらを総称して言うところの、いわゆる精神の発達とその障害の考察は、この段階に達した脳の保有者である、人間を対象にしたときにのみ成立する。

さらに付言すれば、ここでは辺縁系に対する前頭前野の支配と「思考過程」の「情動状態」への関与が特徴的で、解剖学的にも連合野と視床下部・扁桃体との直接的または間接的（嗅内野を介して）結びつきは密接になっている（20 節、参照）。

30 節　動物にみられる情動発現－サカナ・トリからネコ・ヒトまで

このように認知機能と情動機能は脳の構成から見て密接に関係しており、その結びつきの強さは動物が高等化するにつれてより強くなる傾向がある。ヒトにおいては、リズム・ホルモン・感情の発現の上に、新皮質とくに言語野が発達し、物事を概念化し、指向することが可能となり、その一方で扁桃体が外界からの刺激が有益であるか不利益であるかを判断し、側頭葉に蓄積されている長期記憶のバッファーの中から適宜マッチするものを取り出し、情動に関連した刺激に注意を向けてそれを正しく認知し、対処することができるようになる。この際、能動的機能を備えた前頭前野が働いて、外界の変化に適応するように判断し行動する。大脳新皮質には扁桃体からの入力の他に、脳幹網様体からの覚醒を賦活する広範囲な上行性の投射があり、さらに、大脳基底部からのアセチルコリン系、黒質緻密部からのドーパミン系、脳幹縫線核からのセロトニン系の皮質全体、とくに前頭前野、帯状回前部などへの強い投射がある。これらの神経終末から放出される神経伝達物質は皮質ニューロンに働き、脳を覚醒状態に保ち、刺激に対する感受性を高めて、外界からの情報を処理する脳内のシステムの効果を最も有効に活用できる仕組みになっている。とくに扁桃体や海馬からなる大脳辺縁系からの前頭前野への入力 [Goldman-Rakic et al., 1984] は、認知・記憶・判断のための情報を入れて皮質を活性化し、それを用いた適正なワーキングメモリーが実行されることに役立っている。

この高次神経活動、すなわち精神活動は脳の発達に応じてより高いレベルのものとなる。つまり、動物一般に見られ、情動体験に影響を与えている自律神経（血圧、動悸、発汗など）やホルモン（ストレスホルモン、ステロイド、アドレナリン、ペプチド）の反応や身体的な「自動」反応（すくみ、攻撃、逃避）などの上に、霊長類、とくにヒトの段階に発達したとき、第二信号系の関与する質の高い認知機能と結びついた活動、さらに高次の精神機能が発揮されてくるのである。

ところで、サカナの場合に、大脳辺縁系、とくに扁桃核に相当する場所は一体どこにあるのだろうか。サカナ（メダカ）には schooling behavior といわれる群（ないし集団）の習性がみられるが、ペプチドや TH や Nkx2.1 gene の分布、線維の投射様式などから恐らくマウスの扁桃体に相当すると判断される、終脳の特定の領域を傷害すると、この群集行動ができなくなる（後述）。

トリの例で言うと、ニワトリとウズラに対して施されたキメラ移植実験の結果、終脳の特定の神経核（ニューロン群）に鳥の種類に特有な鳴き声を規定している領野の存在が予測されている [Balaban et al., 1988]。また鳥類の線条体は非常によく発達しているが、進化論的にみると、２－３億年前の遥か古生代に爬虫類から二手に分離し、一方では新皮質を発達させる方向に向かった哺乳類への系統 [注：哺乳類型爬虫類、すなわち、獣歯類の原始爬虫類→単弓亜綱] と、他方では線条体を発達させる方向に向かった鳥類への系統 [注：原始爬虫類→双弓亜綱→祖竜類] がある。従って、一般に流布されているように爬虫類→鳥類→哺乳類という進化の系統樹を歩んで来たのではないので、鳥類と哺乳類の間で構造上の比較研究をする場合には、一旦爬虫類まで立ち戻った上で考察する必要があるとする説が有力であった。しかし、発生学的研究や線維連絡および伝達物質の分布の研究が進んだ今日、進化の道筋に関しても新しい見解が加えられており、いる如くで、鳥類の大脳はニューロンが層状に配列する皮質構造は持たないが、大脳皮質に対応する機能を持った、それと同等な構造を持った部分がニューロンの固まりとして線条体の上を覆っていると理解されるようになった。そして、最近この部分の名称変更（from "striatum" to "pallium"）の会議が行なわれた（Jarvis et al.,2005、参照）。

カナリヤの歌

Nottebohm (1989) らの研究によれば、カナリヤでは HVC (High Vocal Center、高位発声中枢) といわれる上位（または高）線条体 (hyperstriatum) ないし新線条体 (neostriatum) で、秋期の繁殖期に神経細胞の３８％が減少するが（細胞死）、翌年の春期にかけて神経細胞が新しく生産される（細胞新生）。「歌を覚える」とういことに関係があるらしく、カナリヤは秋頃からシラブル（音節）

を失って歌が何となく不安定になるが、冬から春にかけて新しいシラブルを組み込んで歌が安定するという。この事実は、可塑的性質を持った新生ニューロンはトリの「発声関連神経回路」（図４２）の中にシナプスを形成して組み込まれ、認知－運動のプログラムが新しく形成ないし修正されて発声の再構築（vocal remodeling）が起こり得たことを証している。

以下に著者の教室で行なわれたたサカナとトリの情動発現の実験について、やや詳しく述べる [Kawamura et al.,1999 ; 川村、2002] 。まず、硬骨魚類の終脳発生の特徴について一言しておく。哺乳類をはじめとする脊椎動物一般の終脳には、神経管からの発生の過程で脳が側方に膨れて、側脳室を中心に背側から、海馬、大脳皮質、梨状葉の順で発達する外套域（pallium）あるいは皮質部位と、さらに腹側に続いて線条体、扁桃体、中隔が発達する皮質下（subpallium）領域がみられる。硬骨魚類（メダカ）の場合、神経管の最背側の蓋板 (roof plate) が伸長し、脳が外側に逆転した形で形成される。その結果、脳の表面が脳室帯域 (ventricular zone) となる。

メダカの学校

坪川ら (1999) はメダカの終脳について、Nissl 染色および種々のペプチド (CGRP, CCK, NPY, SS, SP) 類や TH（カテコールアミン系）の免疫組織化学染色を行ない、マウスにおけるそれらの分布と比較して、その類似性から扁桃体の拡大部位 (extended amygdala) に相当する領域を想定した。つまり subpallium が背側 (Dd- Dl region) に位置するところに腹側線条体 / 扁桃体 (ventral striatum/ amygdala) の近傍を推定した。この領域を両側性に破壊すると、schooling（集合または群集行動）ができなくなる。恐らくメダカの情動障害のためである。

サカナの生態学的研究により、サカナには個体間の大きさの差、体長の異同のような因子に対する反応性の差に基づいて社会形態が形成されることが判明した。「群れ」（順位性群れ、同位性群れ）「縄張」は、脳の " 扁桃体 " を主体とする辺縁系構造が有する誘引や反発などの価値評価の結果、それが行動に表現されたものであると考えられる。

次に、話題がサカナからトリのレベルになると、単に、単純行動を示す集合行為などの面からではなく、個体自身が発する音声によってより高次のコミュニケーションを成立させ、互いに他を引き寄せるという異なるタイプの社会行動がみられるようになる。

キメラ作成実験による鳥の鳴き声の解析

「鳥の鳴き声」については研究が進んでいる。キンカンチョウ、鶏を含む鳴禽類の研究はコミュニケーションにおいて、外来刺激に対して扁桃体の価値評価が大きな役割を果たすと同時に、種特異的な泣き鳴き声も重要であることを示している。鳥の鳴き声は、鳴管 (synrix) という気管支の左右にある器官の筋の緊張を XII 運動神経（舌下）が支配することによって、音が決められている。また、この XII 運動神経（舌下）は中脳にある神経核 nuic(dm) の支配を受けており、さらにこの部分が、神経核 nurob（鳥の扁桃体相同部分）と HVC（鳥の運動皮質相同部分）の支配を受けていることが明らかにされている（図４２）。トリの鳴き声にもヒトの乳児の泣き声にも多様性があり、連続音が文節音に切り替わる時期がある。この過程がコミュニケーションに必要な意味を持つことになる信号獲得の、ひいては言語使用の第一歩なのであろうか。

竹内らは種特異性を解析すべくニワトリ／ウズラのキメラを作成するという実験系を作った [川村、2002、参照]。胎仔の脳の一部を微小手術により交換移植して、キメラをつくり、どちらの種特異的な行動が引き起こされるかを調べる方法であるが、この場合、生直後から実験を施行する７日目までテストステロンを投与してその性分化を誘導し、雄の泣き声のパタンを分析した。ニワトリの場合は一鳴きに１回、ウズラの場合は３回の鳴動がみられることで、種特異性を確認した。孵化後２日目のニワトリの脳胞にウズラの終脳部、終脳＋間脳部のみを移植したのでは、鶏の鳴き声はそのままで変化を示さなかったが、間脳＋中脳、間脳＋中脳＋菱脳部を移植した場合にはウズラの鳴き声に変化した。

＄（図４２）

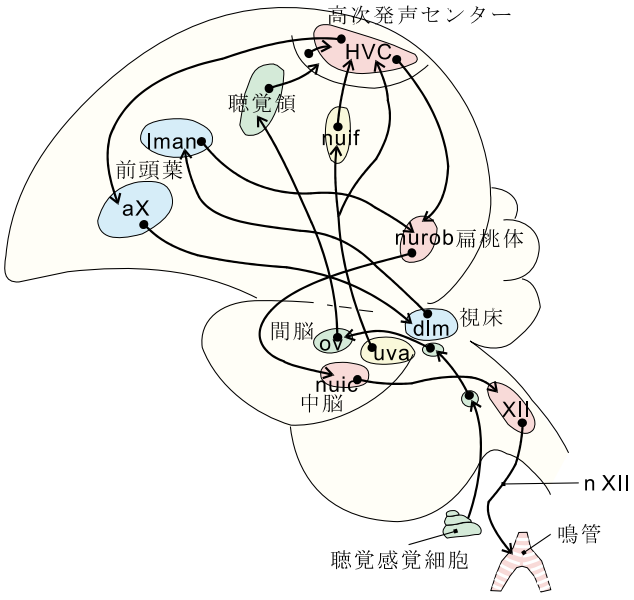
以上の結果から、鶏の鳴き声の種特異性を決めている領域は、先の鳴動運動系で間脳＋中脳部分から発生する nurob の一部と nuic (dm) であることが示された。とくに nuic (dm) は哺乳類の中脳網様体にあたる部分で、哺乳類では、ここが歩行など反復運動のパタンを形成するパタンジェネレーターであることからも、この部分が鳴き声のパタンを調節している可能性が示唆される。この研究により、社会行動の種特異性は扁桃体における価値評価という面のみならず、中脳網様体の MLR(midbrain locomotor region) も鳴き声のパタンの形成において、リズム発現と関連する部位と考えられた。

げっ歯類の扁桃体のはたらきと形態異常

次に終脳がさらに発達しているマウス（げっ歯類）を用いて恐怖（不安）条件反射実験を行ない、扁桃体が情動の発現に関与していることを明らかにした実験例を紹介する。

相沢、湯浅らは、マウスを用いて扁桃体からの重要な遠心路である分界条（stria terminalis）の形成過程を調べ、胎生 12 日に視床下部に達していることを明らかにした [Aizawa et al., 2004]。また、種々の神経伝達物質受容体に関して、刺激あるいは抗精神病薬の投与によって興奮する神経細胞の分布を捉えるべく、最初期遺伝子（c-fos）の発現を指標として、情動に関わる機能的神経回路を調べ、Fyn 欠損マウスと正常マウスとの間で、扁桃体を中心に興奮神経細胞群の分布と強度に関して相違があることを明らかにした。すなわち、ブザー音と床の電気ショックを組み合わせて、音刺激に対して回避反応をとるような条件づけをし、情動回路における c-fos の発現様式を検討し、過剰反応を示す Fyn 欠損マウスにおける神経回路機能の異常を見い出した。また、恐怖条件づけにおいてチロシンリン酸化を受けるシナプス蛋白の同定と、Fyn 欠損マウスにおけるチロシンリン酸化パタンの異常を検出した [湯浅と八木、1998]。

川村 らは遺伝子欠損マウス (ノックアウトマウス) たとえば Nkx2.1 欠損マウスを解析して、情動系に関連する、扁桃体や梨状葉皮質の形成不全や前交連線維の正中部における交叉不全、視床下部－前頭葉間結合の異常増強などの所見を認めた [Kawamura et al., 1999; Ohyama et al.,in preparation] 。この Nkx2.1 遺伝子は、ショウジョウバエの NK-2 遺伝子と高い相同性を示すホメオボックス遺伝子で、ラット胎仔脳においては前脳特異的に発現わすることが報告されている [Guazzi et al.,1990; Price et al.,1992] 。その標的遺伝子としては、サイログロブリン、サイロトロピン (TSH) 受容体など甲状腺ホルモンの生合成に関わる遺伝子群が知られている [Civitareale et al.,1989 ; Kikkawa et al.,1990]。Nkx2.1-/- では、視床下部、下垂体、甲状腺、肺の形成不全が認められ、生後まもなく死亡してしまうので、残念ながら情動行動について観察できない。ヒト Nkx2.1 遺伝子ヘテロ (+/-) の患者の症例報告によると、精神的な発育に遅延、甲状腺刺激ホルモンの分泌に異常が認められており、いわゆる haploinsufficiency（遺伝子 1 コピーでは不充分であること）を意味している可能性が考えられる (木村、私信)。また川野らは Pax-6 変異体 (mutant) ラットを解析して、視床から大脳皮質へ向かう線維が内包を通過することができずに、そのまま腹方に伸長して脳底部まで達し、扁桃体原基内に線維が迷入してしまうなど、情動・辺縁系に異常を認めた [Kawano et al.,1999]。なお、Pax-6 は目の形成にも重要な役割を持つ遺伝子で、その相同遺伝子はショウジョウバエ、ゼブラフィッシュ、マウス、ラット、ヒトでいずれも目の形成に関係する。Pax-6 を欠損する突然変異マウスとラットは、ホモ接合体が出生とともに死亡し、ヘテロ接合体では目の形成が未熟であるため、それぞれ小眼球マウス、小眼球ラットと呼ばれている。この Pax-6 は胎生期の正常脳では、嗅球、大脳皮質、腹側視床、前視蓋領域などに発現し、欠損するとそれらの部位に形成異常が観察される。



（図４２）図８－３０－１：トリ脳内における聴覚系と鳴声系を示す模式図。

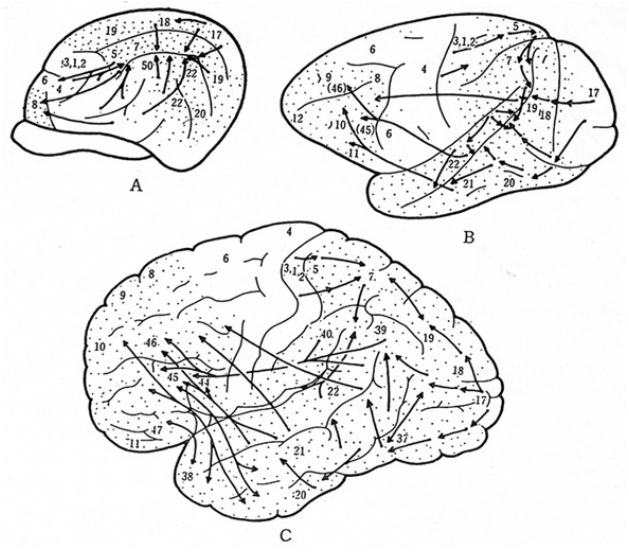
大脳皮質の高等化と情動機能

以上に見たように、われわれは種々の動物を用いて「情動」（と呼ばれるものを成立させる脳機能）の研究を行ない、貴重な情報を得ている。動物が高等になると、言語交流の萌芽がみられるサルの段階の情動行動がある。ここでは、終脳が発達し、皮質間結合が増強され、連合野が広く発達する。皮質連合野が発達してくると、価値判断ニューロンの存在する扁桃体の研究の外に、ある程度周りの状況を判断して行動する動物のパタン解析が実験的に可能になる。丸とか四角とかの区別認識が可能になり、短期の記憶と長期の記憶の関連などを研究することができるようになるからである。ヒトに至ってついに言語性皮質が誕生する（図４３）。が、こうした事柄をより充全に理解するためには、きわめて重要なパブロフの条件反射における言語系と情動系の関連について詳しく研究する必要がある。

それでは、ヒトの大脳皮質はサルに比べてどう違うか。

それが脳の機能としてどのように反映されているか。パブロフは、すべての動物が生得的に持っている、遺伝子によって規定されている無条件反射に対して、その成立機序が大脳皮質に求められる、獲得性の具体的情報が扱われる条件反射の一次情報系と、ヒトにのみ存在する大脳皮質の言語性皮質が関与する条件反射の第二（次）信号系の存在を示した。パブロフの条件反射第二（次）信号系、すなわち言語系を機能し発揮できるヒトの脳はその構造の複雑性、結合関係（回路網）の複雑性、発展性において、general cortex と呼ばれる新皮質がはじめて出現わするワニ・トカゲから（→トリ）→ネズミ→ネコ・イヌ→サルと進化して来た一連の step から飛躍的な発展を示す。その進化の過程で適応放散によって分岐しそれぞれに特殊化した各種動物に比べて、ヒトの脳は新皮質の幅、ひろがり、線維結合などの面において、サルに比べてはるかに高度である。組織学的にみて、神経細胞が密に分布し、錐体細胞の樹状突起がより高度に分化し、回路網が著しく発達している。ヒトは道具を使用し、労働を共にして生活し、コミュニケーション社会の文化を継続させる。ヒトの脳ではヒエラルキーの高い情動 (emotion or passion; pathos) と言語／言葉 (language; logos) が結びつき、情報を処理する過程で分析力、解析力が格段に発達する。それをこの新皮質の構造が担っている。また、ネコとサルの間で、新皮質から辺縁系への投射に大きな差が認められ､それが増強されることを（図４４、４５）の神経回路図に示した。

ネコとサルの間にみられる差に比して、著しい相違がサルとヒトの間には確実に存在し、それがこの格段なる解析性、明晰性の差をもたらしていると考えられる。そ

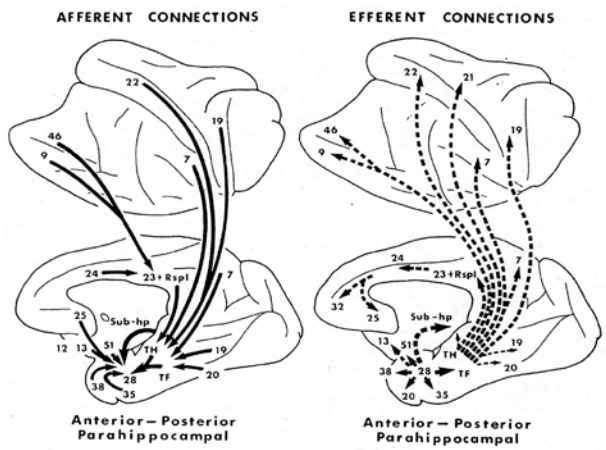


（図４３）図８－３０－２：ネコ（A)、サル (B)、ヒト (C) における感覚刺激の皮質内伝達経路の比較。アラビア数字はブロードマンの皮質領野番号。皮質連合野は点描されている（川村、１９８２）。

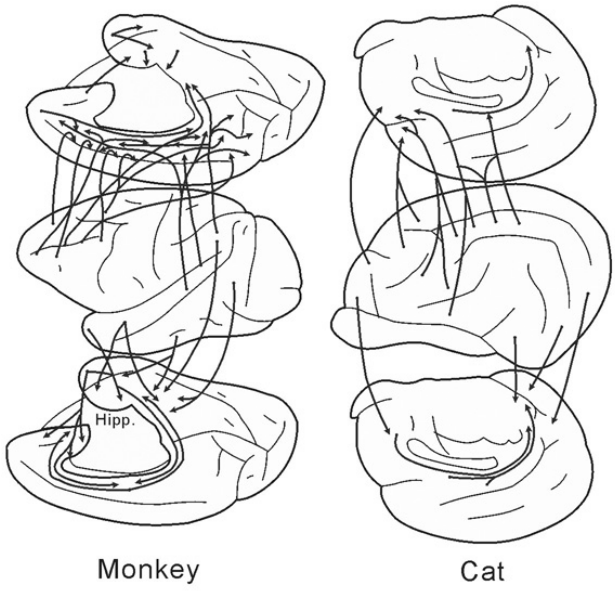
の形態的単位（基盤）としては大脳皮質の持つ、視覚領や聴覚領、また、各機能域内に各々に異なる機能を担って存在する個々の mass としてのニューロン集団をあげ得るが、その特色として、個々の集団が非常に分化している点を指摘することができる。たとえばトリでは、この集団が線条体に相当し、カナリヤなど song bird では、季節的に新線条体 (neostriatum) や原始線条体 (archistriatum) の RA(robust nucleus) と呼ばれる神経核のニューロンが増殖し、領域的に増大する。

ヒト大脳皮質の「領域化」と「層状化」

ヒトの大脳皮質は領域化の他に層状化にも特徴ある発展がみられ、これが高次脳機能をうけもつ分析性の基盤である。つまり分析的な知覚（諸）野と後連合野、さらに、前頭前野への発展というように「上向」的にヒトの皮質をみたとき、下等動物には存在しないヒトの皮質の解析的性質が浮かび上がってくるのであり、この解析性の故にヒトの仕事を特徴づける解析的作業もまた可能になるのである。たとえばネコの段階では運動野と体性感覚野は混在していて分かれていない。サル、ヒトとなり皮質の機能域は細かく分かれる。つまりより解析的・分析的になってくる。それだけでは高次の機能は活動せず、それらを統合し、総括する（組みかえて束ねる）機能をもつ皮質領域がはじめてヒトの脳に出現し、それによって高次機能の活動は行なわれ得るようになる。皮質内結合ニューロン群と皮質から脳幹や脊髄へ向かって神経突起を延ばすニューロン群が配置されて形成され、その発達に伴って同時に入出力系の神経線維集団が大脳皮質と脳内の各部位を結びつけて動物の発達・進化に対応した神経回路網の完成をみる（highly organized pyramidal cells as well as non-pyramidal cells with efferent and afferent connections)。そして、形態の点からしても、



（図４４）図８－３０－２a：サルにおける海馬傍回と新皮質の間の線維結合を示す模式図。（Van Hoesen,1982）



（図４５）図８－３０－３：新皮質から辺縁系皮質への神経投射路－サルとネコの比較（川村、１９７７）

またその機能の点からしても広く脳全般の最高の領域を形成するこの皮質部分こそが別の名称をとって連合野とくに前頭前野 (prefrontal cortex) と呼ばれる部位に相当する。

ロゴスとパトスの融合―病的なものと芸術的なもの

扁桃体が関わる恐怖条件づけによって成立する情動反応の発現は、動物一般に見られるもので、その脳内メカニズムとその成立の機制はヒトとラットで基本的には同じと考えられる。つまり自律神経反応（心拍数の増加、過呼吸、血圧上昇、発汗、立毛、緊張感、不安感など）を伴う「恐怖症状」や「パニック発作」が観察される。さらに、条件反射第二信号系が発達してヒトの段階になると、その発現過程に認知機構が大きく関わってくる。たとえば前部帯状回皮質や海馬の障害（や萎縮）との関連が注目されている PTSD では（Yamasue et al., 2003）、いわば無意識的な、思い出したくないフラッシュバック（再体験現象）のみならず、言葉による刺激／信号によっても病的な情動反応が引き起こされる。概念化された表象がトラウマ（心的外傷）となり得るのである。

さらに、精神分析による治療法として、言葉を用いてトラウマを消去する方法をとるが、そこでは、意識的な洞察 (insight) と意識的な評価 (evaluation) が必要で、側頭葉の記憶系と前頭葉を含む皮質領域の認識系が共に働いて、意識的記憶を用いて扁桃体や海馬を含む大脳辺縁系の働きを制御している。

以上は医学的にみたロゴスとパトスの側面であるが、人間社会で成立する健全に発展した精神活動で、芸術的なものにまで高められるものがある。すなわち、脳の発達・進化に関連して、言語機能、概念形成能力を持つに至った動物とそれらを持たない動物との間に、情動の表現に当然のこととして質的差異が存在する。

ロゴスにおけると同様に、興味深いことにはパトス においてもヒトと他の動物との間には、質的に異なる性質のものが脳の発達を反映するかたちで存在する。しかもこの両者、ロゴス と パトス が融合したときにこそ精神活動は具象化されてくる。ムンク の絵に表現されている「不安」や「嫉妬」（図４６）、オペラの中でもろもろに表現されている愛（アイーダ､タンホイザー）や嫉妬（カルメン、オテロ、ドン・カルロ）や狂気（ランメルムーアのルチア）の表現、さらに、バッハの受難曲に聴く崇高な響きがこれらの例証であると言えよう。改めて言うまでもなく、これらは最高度の完成に達した物質と言えるヒトの脳のみが創り出すことのできる芸術的な産物である。

31 節　音　楽療法

ここで一言、神経科、精神科、老人ホームなどで行なわれている音楽療法について述べてみたい。近年、とみに関心が寄せられつつあるこの療法は、音楽が人の情操に訴え、またその記憶とくに連想を呼び覚ます力が神経系に作用し、ポジティブな効果をもたらすという考えに基づくものである。

人間と自然との調和－ミクロコスモスとマクロコスモス

恐らくこの背景にはピタゴラス学派や降ってガレノスの思想、またさらにルネサンス時代に活動して後代のこうした考え方に大きな影響を与えたフィチーノやパラケルススの考え方がある。そこでは、自然は調和と数の原理によって構成された 1 つのコスモスとみなされ、倍音構造などの数量的音程関係によって構成される音楽は、本来ミクロコスモスである人間の精神・身体的な調和や均衡が崩れた場合に、これを回復させ再構成するための治療原理とみなされた。しかもこうした考え方はガレノスやパラケルススといった、プラトン的宇宙観に立った人々の場合にのみ認められるものではなく、たとえばハーヴェイの「血液循環論」も人体と宇宙の対応関係を問うべくまとめられたものであろうと言われている。18 世紀から 19 世紀にかけて、徐々に衰退して行なったこのようなマクロ（ミクロ）のコスモスの対応において人間を捉え、病人の患部に集中するのではなく、身体ある

（図４６）図８－３０－４：嫉妬（Edward Munk）

いは心身の全体を問おうとする、要するに医術とでも呼ぶべき医の方法は、今日ではむしろ東洋医学の中にその思想・実践をより明確に認められるであろう。音楽療法における癒しが何を目指すべきかについて考える際の、これはひとつの重要な点であると言えよう。

ともあれ、ルネサンスに成立した上記のマクロ＝ミクロ・コスモスにおける人間の癒しを芸術のジャンルで、それもたとえば音楽のジャンルで具体化させようと努めた音楽家のひとりがバッハであると言えようし、そこでは心身の治療（人間に内在する宇宙の秩序の自覚・覚醒）へと人間を促すことによって、人間の秩序をその本質へと向けさせるべく音楽は構築されている。

音楽　の法則・数の秩序

そのような音楽を形成させ、一個の作品の全体を秩序づける原理として機能しているのが数比例の法則に基づく、鳴り響く数としての音楽の法則である。当然のことながら脳機能において最高の領域を成すヒトの脳においてのみ発見され、表象される数の宇宙を美的言語の形をとってこれらの音楽は人々に伝えその心身を癒すと考えるのである。その意味で、数の秩序によって表象される世界へと人々を導くに際して、正しく音楽は優れた効果を発揮する可能性を秘めているとされる。

最近の fMRI などによる脳の解析によって、数に関わるものが前頭前野や頭頂葉を中軸とした、ヒトの脳をヒトの脳たらしめている部分であることが明らかにされようとしている。そのように形成されているヒトの脳に対する人間の原理の回復のための一手法が音楽療法であるから、見方を変えれば、代数や幾何学といった数学を実際に学習することによってなされる、おそらく数学療法とでも呼ぶべきものも人間の癒しには有効になると思われる。資本論の執筆の合間にマルクスは、疲れた頭脳の回復を図って数学に熱中したと言われる。

この響く数秩序（音楽）の治療効果は古代から認識されていたらしく、旧約聖書にも記述されている。若きダビデは痛みに苦しむイスラエルの初代の王、サウルのために竪琴を演奏して、悪霊を取り去って安堵を与えたという話がそれである（サムエル記上、16 章 23 節）。ギリシア神話でも、やはり竪琴を奏したアポロ神は音楽と医療によく結びつけられている。これをより論理的に扱って、音楽による心身の鍛錬が政治的にも重要であると説いたのがプラトンの『国家』における音楽論である。音楽によって心身を整えられた正しい人間による健全な社会の育成をプラトンは理想的な教育と考えたからである。無論、こうした哲学や教育、政治における音楽の役割と今日一般に行なわれている音楽療法とでは目指すものが異なる。しかし音楽療法ないしは音楽に代わるなんらかの手段によって人間の癒しを行なおうとするとき、いわばその高次の段階において、前記のパラケルスス等の医の思想に明らかなように、人間とその人間を包み込んでいる世界・宇宙の正しさが目指されて当然であると言えよう。

一方、現在の状況はどうかと言えば、コミュニケーション障害、気分障害、認知障害のみならず脳卒中や外傷の後遺症、筋ジストロフィー、パーキンソン病や認知症を含む運動・知覚・記憶障害の患者を対象に音楽（絵画療法も然り）が利用されている。ここで用いられる音楽には、老人ホームで聴かれる演歌の類から、精神的に高いレベルの、たとえば、バッハの音楽まで色々ある。認知症の老人や精神病者には、クラシック音楽よりも大衆的な演歌や民謡が心に沁みて訴えるようである。メロディー、ハーモニー、リズムなどの音の連続的な調和のとれた美しさは、皮質レベルに働きかけて、神経症とか精神病に対して有用であろう。音楽による認知の様態は複雑で、「リズム」が脳に与える活性化と「癒し」が脳に与える休息効果とは相補うものであろう。

精神異常を示す念慮 (Idee) や妄想 (Wahn) の形成は、認知機能、すなわち、ことばを手段とする機能と結びついている。音楽はことばを使わずに具体的なイメージも抽象的なイメージも伝えられる。それ故に、不安患者には慰め・いたわりの曲をというように、人の情動のレベルと楽曲の情緒性を合わせるという、前世紀半ばに音楽セラピストとして活躍した精神科医アルトシューラー（I. Altshuler）によって提唱された精神療法的治療理論である「同質の原理、iso-principle」の上に立って、音楽の生理的・心理的作用に基づいた、精神的やすらぎの状態

を効果的に誘導し得ると考える。

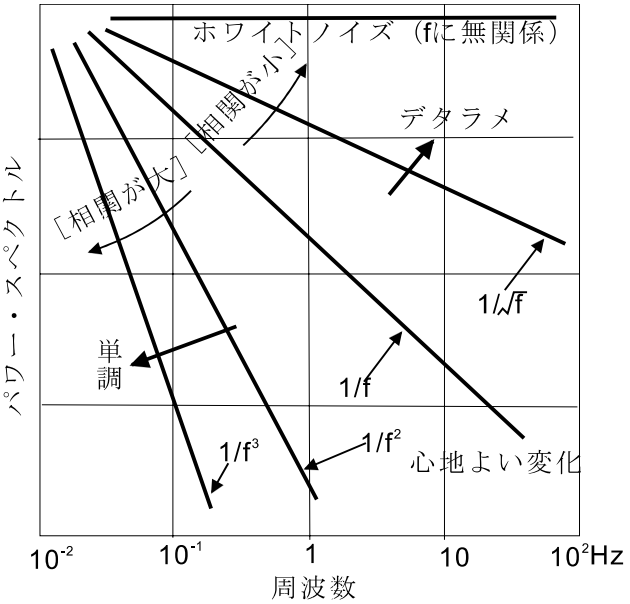
「ゆらぎ」あるいは「1 / f ゆらぎ」

小川のせせらぎ、そよ風、かげろうなど自然界の現象の中に、また心臓の鼓動、体温や呼吸数の変化、脳波（とくにα波）など生体のリズムにも、さらには和太鼓の響き、手拍子、話し言葉の抑揚、歌のリズムなどの中にも「ゆらぎ」と言われる現象が見られる。これを定義すると『温度、音量、密度、周波数、速度、などの物理量の測定値が、一定の周期を持っているように見えても、それらは時々刻々と変化していて、平均値の近くで予測不能の僅かな変動が見られる現象』となる。

一方、すべての動物は自然界から、光、音、触、味、嗅の感覚刺激を受容するが、これらの刺激は正確な周期性を持ったパルス波形などではなく幅（ズレ）を持っている。脳はそれらを知覚し、生体内のリズムと共鳴・同調させることによって、内分泌・自律系を整え、調和させ、気分を爽快にし、安定化させる。聴覚系の場合も明らかで、音楽の響き自体、人を快適にする性質を持っているという科学的知見も紹介されている。とくに一般にクラシックと呼ばれるタイプの楽曲の音には、人に心身の調和をもたらすと言われる「1 / f ゆらぎ」と呼ばれる時間的変動が見い出されている。f は frequency（周波数、振動数）の頭文字である。物理学では音、色、光などの変化を波形のグラフに描くことができ、これを「フーリエ変換」した値を両対数グラフ（関数グラフの一種）に図示し、その分布を見ることで変化を読む。すなわち、このグラフでは周波数毎の成分に分解してそこに含まれる各々の強さ［振幅の２乗平均、すなわち各成分のパワー（１ヘルツの幅の中にあるパワーという意味で、パワー・スペクトル密度という）］を調べる。そしてスペクトルの周波数を対数グラフの横軸にとり、振幅の２乗、つまりパワー・スペクトル密度の値を縦軸にとる。パワー・スペクトル密度と周波数の比例関数的依存性が一目で分かり、測定値を点で表示すれば「ゆらぎ」の状態を見ることができる。

このグラフ（図４７）について説明する。パワー・スペクトルで表わされた形によって「ゆらぎ」の種類が異なる。周波数値が横軸に平行で一定のパワーレベルに集約されるものは「雑音」と言われ、やかましく耳障りな音や不快感を覚える色彩や苛立ちを覚える配列などがこれに当たる。「無秩序なゆらぎ」「白色ゆらぎ」と言い、すべての周波数成分を一様に含んでいる。両者間に相関関係が見られると右下がりの形となる。その相関が大になる程、パワー・スペクトル密度の値は低周波数に向かって増加する。すなわち、パワーが強く周波数の低い左上から、パワーが弱く周波数の高い右下へマイナス 45 度の角度の直線に沿って振動数が図示される。このように周波数に対してパワーレベルが反比例する（逆数に比例する）ので１／ｆと表現され、「１／ｆゆらぎ」と呼ばれている。風のそよぎや打ち寄せる波などの自然現象には、ある時間単位で一定の規則性と適当な変化性が存在する。音楽音響の場合は、高さを表わす周波数にも強さを表わす音響パワーにも、「１／ｆゆらぎ」特性が抽出される。あまりにも単純な繰り返しは退屈さを感じさせるし、突然の変化も心を動揺させるが、その点「１／ｆゆらぎ」は人に対して安らぎと楽しさを与える快適な波動といえるものと見なされている。人の体のリズムも「１／ｆゆらぎ」になっており、波の中にも「１／ｆゆらぎ」が存在すると考えている人もいる。さらに「1／ｆ二乗ゆらぎ」、「1／ｆ三乗ゆらぎ」と呼ばれるものは、グラフ上では１／ｆよりも鋭い角度で右下に下がるもので、まどろっこしくゆったりとし、リズム感が乏しく眠気を誘うようなゆらぎである（図４８）。

しかし、事はこのように単純ではないかもしれない。果して１／ｆゆらぎはクラシック音楽すべてに当てはまるのだろうか？ 1/f における「楽音」それ自体がどの楽器によるどのような「響き」によるのか不明である。バッハからモーツァルト、ベートーヴェン の時代には音楽の「治療」は主として「健常者」あるいは一部の上流階級に属する人達に対してのものであった。それに対して、１９世紀末から２０世紀にかけては、音楽の大衆化、すなわち、響きの大衆化が成立し、それが理解されるために必然的に「音楽の大衆レベルでのロゴス化」が起き、今日では大衆音楽としてのクラシックが成立している。

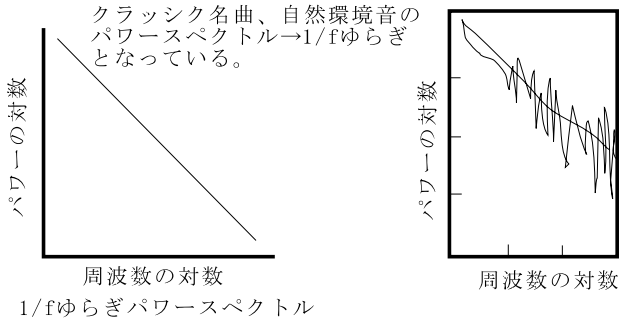


（図４７）図８－３１－１：ゆらぎの解析

この問題には機械録音装置の開発技術の発達と共に、音楽と社会の関係もまた深く関与している。

レコード・CD・生演奏

録音と音の再生のための装置である、エジソン（1877）によって世に問われたフォノグラフ（管式蓄音機、蝋管に音波と同じ波形の溝を刻み、それを針で取り出すという仕組み）からグラモフォン（円盤式蓄音機）へと研究が進み、とくにレコードの発明は決定的に重要な役割を果たした。現在ではクラシックもまたその大半が「商品」化されているが、それは必ずしもレコード（音波の波形をアナログ記録する）ないし CD（音波の振幅の大きさを数値化してディジタル記録する）などの商品を販売するという意味で大きな問題を提示しているのではなく、演奏家それ自体が「商品化」されているところに問題の根はあると言わねばならないであろう。また併せて記せば、いわゆる生演奏と CD もしくは録音された演奏の間には非常に大きな質的差がある。このことは、とりわけ医療関係の人々によって充分に注意される必要がある。音楽による癒しや音楽療法には生演奏が用いられることが望ましいが、プロの演奏家との協同作業は実現が困難である。むしろ音楽を学ぶ学生の積極的参加が望まれる。



（図４８）図８－３１－２：1/f ゆらぎの特性

秩序とゆらぎのある音楽

音素材と「ゆらぎ」の問題に返ってみるならば、元来、自然界に存在する音はゆらぎとズレと雑音を含む「幅」を持っており、この幅と正確さ（ゆらぎのなさ）とのバランスの上に音楽もまた成立していると言えよう。一切のゆらぎを排したものは単に人工的であり、また逆に幅のみによるものは、少なくともヨーロッパ系の音楽芸術の中では、真の美に到達し得ない故に非芸術的である。ルネサンス末／バロック初期に、人間の心身における「在り方」の追求を背景としてこの両者への関心が改めて高まり、「ゆらぎ」つつも韻律法などを基礎として真の調和へと聴き手を導く、近代の修辞的音楽は成立し、以来、秩序と幅のある音楽が創造されてきたのである。

自然科学的、物理的法則それ自体を根拠づける原初的なもの、いわば未分化であるが故に「ゆらぎ」つつ、かえってそこから法則や秩序へと人の認知を促すもの、そのような「ゆらぎ」でありながらも「ロゴス」的であるものこそが本来の「音楽」であったのである。もしもヒトの脳が、種々の幅を含むが故の自然から法則を発見し得たのであれば、音楽においてもあてはまることをわれわれは再認識すべきであろう。心に沁みる音楽が是とされるのではなく、何か原初的なもの、ゆらぎからの法則の発見という、ヒトの脳機能の高次元に関わる音楽によって、脳の働きを高めること、活性化させること、そこに音楽療法が求めるべきひとつの道が存在すると言ってよかろう。

身体のリズムと宇宙のリズム

こうした側面とは異なる実際の用法の一例として、歩行障害者の改善（歩行の速度、調和、筋活動のパタンなど）を目指して、聴覚的なリズムを用いる「リズム聴覚刺激」の有用性はもっと強調されて然るべきである。このリズ

注：１８世紀前半から１９世紀前半にかけて活躍した古典派のバッハ、モーツァルト、ベートーヴェンらが作曲した音楽の調べは、人間の心を豊かにする作用を持ち、われわれは知と情、善と美の調和を感じ取ることができよう。そしてこれら芸術の巨匠たちは民衆の側に立ち、自由を愛し、その音楽の響きの中に常に新しさを求めていた。遠くからフランス革命の足音が近づいていたルイ１４世の絶対主義の時代に、町楽師の子として封建時代のドイツに生れたバッハは、国家教会体制の中に身をおきながらも、心の底から音楽は少数の「知的」上流階級のためにのみあるものではないという信念を持ちつづけ、聖職者しか歌うことを許されなかったミサに代って、民衆の歌うコラール（会衆賛美歌）を守りつづけた。モーツァルトも貴族に雇われた音楽家という束縛された境遇を厭い、ザルツブルグ大司教の「加護」から離れ、自由な空気を求め自立の道を選んだ。晩年の傑作「フィガロの結婚」では領主権に代表わされる封建制度に対する社会批判を込めて、愛の喜劇という味をつけて彼の思想性を盛り込んだ。そして専門家に言わせると、「ジュピター交響曲」第４楽章では、ソナタ形式の中にフガートの技法を採り入れて、新しい分野を切り開いた。また、よく知られていることであるが、ベートーヴェンの第九交響曲の終楽章の合唱の歌詞は、人間性への信頼と庶民性を終生持ちつづけた彼が、フランス革命に熱狂し、その人間性の自由と平等を謳いあげたシラーの詩、「歓喜によせて」に感激して、これを土台に採り入れて作曲したものである。Deine Zauber binden wieder, ……..Alle Menschen werden Brüder,……, Küsse gab sie uns und Reben, ….Wollust ward dem Wurm gegeben, ….
「厳しいしきたりのために引き裂かれた者たちを結びつけ、同胞（はらから）となる。….. 自然は人間にキスと酒と友を、動物には快楽を与えた」。このように、Ihr stürzt nieder, Milionen?「諸人よ、ひれ伏して祈るか？」という厳しい問いかけの荘厳な旋律を交えつつ、民衆のお祭り気分の快い喜びが全体にみちみちている。

ムのもつ脳の活性化の及ぼす効果には、音のリズムと運動のリズムとの同調という注目すべき点からして、小脳・中脳を中心とする脳幹レベルの機能賦活に大いに関係しているものと思われるからである。

音楽のリズムは身体に快い刺激を与え、手足をリズムに合わせて動かしたり、リラックスした姿勢やスムーズな動作を起こさせる上で大いに助けとなるが、この場合にも、精神医療者等の領域で用いられるクラシックないし洋楽系の音楽のリズムが本来宇宙の秩序を刻むものであることへの認識は必要であろう。

風にそよぐ木々の葉の動きの中にも一定の法則、すなわちリズムという時間の秩序は存在するように、音楽のリズムもまた時間の秩序を表わしている。この秩序のことを古代ギリシア人は「タクシス」（τ α ξ ι ?）と呼んで宇宙のリズムの表われと考えたのである。従って、音楽によって人間の肢体の動きを整えるとき、それは取りも直さず人間を宇宙の法則に合致させることになる。バロック時代に、フランス・ヴェルサイユ宮で発展したバレエはこのような宇宙のリズムと人間のリズムの共鳴の典型であろう。

人間が社会に属していることはしばしば口にされるが、人間が本来宇宙に属しているものであることは忘れ勝ちである。この場合も、従って単に音楽のリズムに身体の動きを重ね合わせるというレベルから、自然の法則や宇宙的リズムへと人間の心身を高め引き上げることによって、踊りの中に、存在の高次化が果たされるのが理想的である。音楽の響きが人間に与える種々の刺激の中でもとくにリズムによるそれには強度なものがあることは言うまでもない。その刺激が脳機能の働きによって全身のリズムに関与し、これを整えて行くことによるのである。

先に述べたように、そこではとくに扁桃体など大脳辺縁系からの入力を受けて、情動行動・自律反応・内分泌反応などの情動表出がなされる視床下部が重要な役割を担っていると考えられるが、いずれにせよ、こうした心臓のリズム＝身体のリズムと宇宙・自然＝音楽のリズムとの対応への注目は歩行障害に限らず、一般人の日常の生活のリズムを整えるという面でも重要である。ただし、西洋音楽系のリズムと、日本人の体形や日頃の歩行のリズムとの間にみられるズレへの配慮は欠かせないであろう。音楽のリズムが心身に大きな影響を及ぼし得るものであればある程、日本人の骨格や歩行時の手足の動かし方、さらには腰の位置といったものを充分に考慮しなければ、リズムによる音楽療法がかえって身体機能を低下させることにもなりかねないのである。こうした点からすれば、音楽療法にダンスを積極的に取り入れることは大切なことである。

第９章　　リズム／テンポのズレとその調和

第９章　　La Notte, 1520-1534, Firenze, San Lorenzo, Cappella Medici (Michelangelo　Buonarroti, 1475-1564)、
メディチ礼拝堂内に製作された「朝」「昼」「夕」「夜」の４寓意像の一つの「夜」。晩年の沈潜した「ピエタ像」（未完）の苦悩を思い起こさせる。

本章では生体とそれをとりまく環境（自然、コスモス、地球）にみられる感覚と運動という範疇に存在する有体（ありてい）の姿としてのズレ（ゆらぎ）や不完全さの問題について、必ずしも一貫した論理の展開をとることなく、いわば思いつくままに、数例を記す。この問題はいまはそうする他に術がないほどに、すなわち多様・多岐にわたりながら、その根幹において共通しているからである。

32 節　サーカディアンリズム (概日リズム)

環境シグナルによる昼夜リズムの修正

生物、とくに動物にはその基本的な特性として、周期的活動、すなわち決まった間隔をもって繰り返されるリズムが存在することが知られている。これらは腺分泌の変動や、細胞内各種分子の分解、合成といった細胞機能の変動に基づく活動の周期性が基盤となって生じるものである。地球上に生存する生物は、地球の自転による１日の周期性という物理環境にさらされ、その結果、約 24 時間周期の明暗シグナルを内在化し、体内にその時間発振機構を開発した。

実際、生体内に存在する時間プログラムには、地球の自転による１日の周期性（サーカディアン , circadian)、潮の干満による半月の周期性（サーカタイダル , circatidal)、月の満ち欠けによる１ヵ月の周期性（サーカルナール , circalunal)、太陽の公転による約１年の周期性（サーカアニュアル , circannual）がある。生物の生命はこれらの宇宙環境にさらされて今日に至っている。昼夜リズムがその一つで、この生体リズム (biorhythm) が明暗などの変化による手がかりもなく、抑制 / 調整されずにそのままフリーラン (free-running、自由継続) すると、長い時間の方にずれて、１日のリズムが 24 時間＋α（アルファ =4 － 5)となることが知られている。サーカディアンリズム (circadian rhythm, 概日リズム、日内変動) とは、ほぼ (circa) １日 (dies) のリズムという意味である。われわれは、光や温度などの環境のシグナルを用いて、毎日そのズレを修正しているのである。

体内時計の乱れと回復

このリズムの発振器（ジェネレーター）は体内時計といわれ、哺乳類では間脳の前視床下部、視交叉の背側に第三脳室を挟んで存在する一対の神経核、視交叉上核 (supra-chiasmatic nucleus, SCN) がそれである。とくにラットで詳しく調べられているが、SCN はペプチド神経細胞に富み、腹外側部には VIP(vasoactive intestinal polypeptide、血管作動性腸管ペプチド) 細胞が、背内側部には AVP(バゾプレッシン) 細胞が局在している。分散培養細胞の実験結果から、これら２種類の細胞は異なる時計機構により駆動されており、振動細胞から成る２つのペースメーカーが SCN 内に部位特異的に存在すると考えられている。そして、細胞相互間のカップリングによって、リズムが増幅されるので強大な発振能を SCN は持っている。しかし、リズム発振は個々の細胞レベルで完結 (cell autonomous) している。入力系としては、網膜や外側膝状体（ただし後者は NPY 含有軸索）から SCN の腹外側部に光と明暗の情報が伝達され、出力系としては、VIP を含んだリズム信号が SCN から室傍下核 (subparaventricular zone, SPV/SPZ) に伝わり、そこから室傍核（PVN）や背内側核（DMN）に伝達され、さらに自律神経系や内分泌系を含む液性調節系に関わる脳内部位を活性化して、行動リズムや生体リズムに影響を与えている（24,25 節、参照)。

また、SCN を両側性に破壊するとこのリズムが消失し、そこに新たに SCN 胎生組織を移植すると、不完全ながらリズムは回復する（Sawaki et al., 1984; 川村と二本松、1985)。ラットを用いたこれらの実験結果から SCN がサーカディアンリズムの主時計、あるいはオッシレーターと解釈されている。地球上の生物（ゴキブリ、ショウジョウバエ、アプリジア、ラットなどで研究されている）は、約 24 時間の周期リズムで活動している。サーカディアンリズムの体内時計は、固有の周期が多少ずれていても、地球の自転周期（24 時間）に同調（entrainment）

することができる。

リズム遺伝子

サーカディアンリズムの発現に関与する遺伝子もショウジョウバエで発見され period(Per) と名づけられ [Bargiello et al.,1984] 、その後ニワトリ、マウスなどにおいても Per と共通の部分配列の遺伝子の存在が明らかにされた [Young et al.,1985]。マウスホモローグ (mPer1)、ヒトホモローグ (hPer1) も単離された (Tei et al., 1997)。現在ではサーカディアンリズムの発現に必須な時計タンパク質として PER のほかに TIM(Timeless), dCLK (dClock), CYC(Cycle), DBT(Doubletime) などが同定されている [Dunlap, 1999]。現在､時計発振遺伝子（Per1, Per2）のうち、mPer1 の転写については解明が進んでおり、それによれば、CLOCK/BMAL1 のヘテロダイマーが、この遺伝子のプロモーターの E-Box(CACGTG) に結合し、転写が促進され、これが PER、TIM、CRY などの蛋白質を介するネガティブ・フィードバックにより転写抑制が起こる。このように、哺乳類における生物時計の発振遺伝子と分子機構については最近研究が進んでいる。詳しくは他書（岡村、2001）を参照されたい。地球の自転や公転による太陽の照明リズム、すなわち光周期の影響を受けている、地球上の生物は単細胞生物でも細胞内に循環する物質代謝が組み合わさって同期（サイクル）を形成し、リズムを発現わすることができる。

「もっと光を」

神経系を持たない動物や植物にも、たとえばネムの木の葉の開閉にみられるように、外界に昼夜のリズムがなくなった条件下でもサーカディアンリズムを示す。哺乳類では網膜に入った光の興奮は網膜視床下部神経路 (retino-hypothalamic tract) を通って脳内体内時計としてリズムのジェネレーターである SCN に送られ、これら生物時計の情報は光周期の情報と統合されて上頸交感神経節経由で松果体に伝えられる。鳥類では松果体が光の直接照射を受け、ここがリズムに関係する。明らかに SCN や松果体 / 松果腺（pineal gland）は体内時計としてのリズム機能を担っている。松果腺はインドールアミンの一つであるセロトニンの代謝産物であるメラトニン・ホルモンを分泌する内分泌腺として重要で、SCN には VIP 、AVP の他、ソマトスタチン、エンケファリンなど多数の神経ペプチドが存在している。このように光に関する網膜からの情報はメラトニンという液性情報に変換され、メラトニンは血液を通り脳に働きかけ、前述された（25 節）性ホルモン（LHRH など）の活動を制御している。

33 節　睡眠と覚醒のリズム

「原始睡眠」から「睡眠」への発展・進化―大脳皮質の発達

概日リズム（サーカディアンリズム、生物リズム）の他に性周期、体温、呼吸、循環など直接的にしろ間接的にしろ自律神経系が関与する、そしてそのコントロール下にある生体内のリズムも多く存在する。ここでは、意識状態と関連のあるリズムである睡眠・覚醒リズムを取り上げてみる。 1 個の細胞が生体リズムをもち、その集合である組織が同様にリズムを有し、組織が運動系と感覚系に分化し、進化の道筋を上りつつ、中枢神経系の器官である脳と脊髄に生体全体を調節する生体内リズムのセンターが局在するようになると、その活動のエネルギー量は大きなものとなる。しかし、多くの無脊椎動物や恒温性を確立していない変温動物、すなわち大脳新皮質の発達していない魚類、両生類のレベルの眠りは未だ「原始睡眠」に留まっており、脳波上睡眠と定義できるような段階に達してはいない。明らかに概日リズムは系統発生的に見て、睡眠覚醒リズムよりもはるかに古い。個体発生的に見ても、ヒトの睡眠のパタンも加齢的に変化し、幼児期には未分化な多相性睡眠（いつも眠っている新生児の状態）から、単相性睡眠（1 歳を過ぎて夜間睡眠が持続的になり、4 歳頃には日中睡眠は午後だけになり､6 － 10 歳にかけて夜間のみの睡眠となる）として、成年期に成るにしたがって統合される。そして老年期にはこの統合が緩んで多相性睡眠の傾向が強まる。

睡眠は神経活動の停止ではなく、脳のために必須の、能動的な、生体防御的な生理機能を持っている。生物の進化につれて発達した、精神神経活動（認知、判断、決定などの情報処理）を行なうべく大脳皮質に新しく備わった、規則的に効率よく休息するという機能である。このように、進化史的に見て、睡眠は前節（32 節）でみたように､①脳内の生物時計によって支配される「サーカディアン・リズム」と　②大脳皮質の疲労回復のために必要とされる睡眠の量と質によって支配される「ホメオスタシス」とから成っている。そして、これらは時刻依存性および時刻非依存性という、二重の機能によって各々調節されている。

脳波（脳内ニューロンの電気活動）

われわれは頭皮上から脳の電気的活動波、詳しくは、脳内の無数のニューロンの電気活動により生じた細胞外電位の集合である脳波を記録することによって脳の活動

状態を知ることができる。なぜなら、意識の各レベルに対応して脳の活動のパタンが図４９にみるように変動するからである。通常の臨床脳波では、頭の皮膚の上から約 0.5 － 30Hz の範囲の周期数で、5 － 300 μ V(マイクロボルト) 程度の電圧の変動をみる。脳波上の波はその周波数によって、β波 (13Hz<)、α波 (8 － 13Hz)、θ波 (4 － 8Hz)、δ波 (4Hz>) と呼ばれ、β波を速波、θ波・δ波を徐波という。（図４９）

覚醒、徐波睡眠（ノンレム睡眠）、逆説睡眠（レム睡眠）

意識状態の変化、すなわち覚醒／睡眠の変化を① 覚醒（段階０）、② 徐波睡眠（ノンレム睡眠、NREM or Non-REM、段階Ⅰ－Ⅳ）、③ 逆説睡眠（レム睡眠、REM）の３期のリズムに分けて、それをポリグラフ上に、電圧の変化を時間の関数曲線として見ることができる（図４９）。健康な成人では、ノンレム睡眠とレム睡眠が交互に現われ、両者合わせて 90 － 100 分間のサイクル（周期）をもって繰り返し、一夜の睡眠を構成している。この持続的夜間睡眠を構成する単相性のリズムは一見サーカディアンリズムに同調しているようにみえるが、複数の睡眠単位が連結したものである。別の言い方をすれば、全生物が共有する、普遍的な性質を持った概日リズムと、より短い周期（超日リズム）を生得的に持った睡眠覚醒リズムとは別物である。レム睡眠時に、急速眼球運動や PGO スパイク（注：参照）が観察されることから考えて、脳幹網様体内の感覚・運動回路網が賦活化され、その興奮（情報）が大脳皮質の感覚野に到達した後に、視覚野や聴覚野内で個人体験に依存した記憶が想起されて、夢の内容が構成されるとされている [Hobson and McCarley, 1977]。ノンレム睡眠とレム睡眠と分化した睡眠形態を備えている高等脊椎動物では、それぞれが異なる役割を分担している。両者の性質は相互補完的で、ノンレム睡眠は大脳皮質を鎮静化してその機能を回復させ、レム睡眠はその機能を活性化させる。なお、睡眠覚醒調節のメカニズムに関しては、液性および神経の相補的関係にある二つの機構がある。前者は睡眠物質に基づくとされ、後者については、ノンレム睡眠の中枢は中脳、橋、延髄に、レム睡眠の中枢は間脳とくに視床下部と前脳基底部に首座があり、しかもその各々の中枢が覚醒中枢と並列的に神経回路を構成していると考えられている。

＄（図４９）

段階	脳波	状態
0	β波 α波	覚醒（興奮時） 安静閉眼時
1	θ波（低振幅）	浅いノンレム睡眠（紡錘波睡眠）
2	紡錘波、K複合波	
3	δ波（高振幅徐波）＜50%	深いノンレム睡眠（デルタ睡眠）
4	δ波（高振幅徐波）＞50%	
REM	低振幅速波 PGO波	レム睡眠（逆説睡眠）

（図４９）図９－３３：ヒト睡眠中の種々の段階における脳波を示す表。

注]：　急速眼球運動 (rapid eye movement, REM) が睡眠中の或る時に短時間に断続的・群発的に起こる。これがレム睡眠であり、身体の筋肉は弛緩し、脈拍・呼吸・血圧などの自律神経機能が不規則に変化する。すなわち、行動的には睡眠であるのに、脳波の眠りは浅くθ波もみられ,「まどろみ」から覚醒に近い状態にある。レム睡眠中に特徴的に現われる事象として、脳波が低振幅速波化（脱同期化 , desynchronization）し、抗重力筋や姿勢筋は緊張が著しく低下し (atonia)、かつ性器の勃起がみられる。この時、ヒトで局所脳血流量を調べてみると、脚橋被蓋核 (PPN, コリン作動性ニューロンを含む、後出、38 節)、両側扁桃体および前部帯状回などで神経活動が亢進し [Maquet et al., 1996]、さらに深部脳波の変化としては、橋 (Pons) －外側膝状体 (Geniculate body) －後頭葉皮質 (Occipital cortex) で著明に見られる棘波（PGO スパイク）が出現わする。このようなことから、レム睡眠中における記憶活動の賦活や夢の出現の示唆がなされている。

注]：　睡眠と記憶（zif-268 遺伝子）

睡眠の機能についても、自律神経系や内分泌系などの身体機能との関連の他に、睡眠は日中の不必要な記憶や結合を一掃し記憶を固定させると言われてきた [Jackson, 1931-32]。どのようにして、睡眠中に陳述記憶が固定化され、手続き記憶が強化されるのだろうか。そしてその時、覚醒時に入力された情報を選択して整理し、思考の再構成を行なう。最近、リベイロらは、ラットを用いて、覚醒時に海馬で長期増強 (LTP) を起こさせた後、続いて起こるレム睡眠までの間に zif-268 遺伝子の発現が嗅内野 / 海馬旁回や扁桃体に認められること、さらに次のレム睡眠エピソードへと進行するにつれて、その活性化される領域が皮質聴覚野、次いで体性感覚野、運動野へと移動することを示した [Ribeiro et al., 2002]。神経興奮伝達の際のカルシウム・シグナル伝達によるシナプス活動に反応して急速にかつ一過性に zif-268 遺伝子発現が誘導されることを考えると、彼らのこの知見は海馬から新皮質へと記憶が記銘され、固定化されるという長期記憶化の過程の分子メカニズムについての有益な示唆を与えるものである。また、睡眠と記憶との関連について、経験依存的な視覚情報の処理（機構）と徐波睡眠の発達との結びつきを拠り所とする研究も進んでいることを付記しておく [Miyamoto et al., 2003]。

パブロフの睡眠学説

睡眠のリズムはどこでどのように生まれるのであろうか？動物は活動時には「覚醒」しており、非活動時には「睡眠」と呼ぶ状態になる。このような覚醒と睡眠の状態をつくりだす神経生物学的機構は脳のどこにあるのだろうか？ 昔から「睡眠中枢」についての学説が知られている。しかしパブロフによれば大脳皮質を持つ動物の脳には特別な、局在的な意味での睡眠中枢は存在しない。睡眠は単調で繰り返される刺激あるいは逆に緊張をともなう過剰の刺激によって引き起こされる。そして彼は、感覚刺激と唾液分泌を伴うその効果の強弱を観察した結果、睡眠は神経細胞の活動抑制　―これを内抑制（または内制止）という―　が大脳皮質全体にひろく拡散し脳幹におよんだ状態で、疲労した大脳皮質に対して「興奮－抑制の連続体を保護する働き」があると考えた。そしてこの抑制は皮質のどこにでも発生し放散する。こう考えるとこの睡眠の問題はリズムの形成や変動に結びつけて考えるよりは、意識レベル（清明度）の変動の問題との関連が重要なものとなってくるように思われる。

覚醒から自己意識まで

意識の問題を正面きって取り上げることは容易なことではない。ここで扱っている睡眠に対応する意味での意識は、脳幹レベルの活動が関わる「覚醒」レベルの話であるが、さらに高次の「自己意識」のようなレベルになると、概念を把握できる動物（＝ヒト）が特徴的に所有している「他」に対する「自」「我」の意識および思考という最も抽象的な概念を含み、前頭葉皮質、とくに前頭前野が大きく関与する範疇の問題となる。この２つのレベルの間に位置する意識の範囲は広く、大脳辺縁系から大脳新皮質に至る脳機能活動の産物としての精神活動を支えている。すなわち注意、認知、情動などを成立させているもの、言い換えれば外界からの感覚刺激を神経細胞が受け取り、脳内のニューロン・ネットワークが活性化され、その働きの結果として現れた意識の状態がこれに当たる。

苧阪 (おさか)(1996) は意識について、低い水準から高い水準の順に、① 基礎となる生物的意識（覚醒、arousal or vigilance)、② 中間レベルの知覚・運動的意識（アウェアネス、awareness)、③ 高次な自己意識（self consciousness、自己に向かう再帰的な意識、リカーシブな意識、recursive consciousness ）の３つの段階に分けている。これまで主として視覚系、聴覚系を対象に本書で考察を加えてきた意識のレベルは、通常の生活において知覚と行動（運動）が結びついた状態の、苧阪 (おさか) の言う②の段階に相当し、これは「後部大脳皮質」(ルリア、1973、の第二機能ブロック、後述、47 節、参照) および一次運動野まで発達を遂げた動物が共通して所有しているものに対応する。さらに、③の自己意識となると、思考レベルの情報処理・認識機能に深く関与し、これは社会との接触を通じて形成される人間に特有な性質のものである。人間は自然の産物をそのまま食べている他の動物とは違って、種をまき「意識的に」自然界にはたらきかけて穀物を収穫する。前頭葉を働かせて合目的的に耕作を行ない、耕地を整備する。発達した前頭前野を活動させて、自らの意思を発揮することのできる、他の動物とは決定的に違う、人間の本質がここにある。このような人間の能動的・意識的活動は、自然に対してのみならず、共に生活する他の人間にも向けられる。この自然や人間に対する「働きかけ」がコミュニケーションと言われるものであり、この概念は人間意識との関係で理解されるべきものである。意識の問題は物質を支配する法則性に基づく生物学的研究に加えて、精神医学の治療上の態度としても重要なテーマであり、それに対する見解は、如何なる世界観を持っているかによって規定される社会科学的、哲学的概念をも含んでいる。

エコノモやブレーマーの中枢説

パブロフ以外の睡眠学説として、1916-17 年に南ヨーロッパに流行した嗜眠性脳炎患者の脳や極度の不眠状態後に死亡した患者の脳などの病理解剖所見をもとにしたオーストリアの内科医、フォン・エコノモの仮説をあげることができる。すなわち、エコノモは、「睡眠と覚醒の中枢はそれぞれ視床下部の前部と後部にある」と考えた [Economo , 1928]。両中枢の（活動の）バランスが変化するために、（徐波）睡眠と覚醒が交互に出現わするという説で、いわゆる「睡眠の中枢説」の端緒である。また、ベルギーのブレーマーはネコの脳幹の切断実験－中脳レベルで切断した上位離断脳 (cerveau isol?) と延髄下部を切断した下位離断脳 (enc?phale isol?) －を行ない、外界の刺激入力が断絶した前者の状態では、睡眠に近い徐波優位の脳波を認めたが、これに対して、外界からの刺激がまだ受け入れられる後者の状態では、睡眠と覚醒の脳波変化を認めたとして、脳幹が睡眠と覚醒の変化にとって重要であると結論づけた [Bremer , 1935]。

モルツイーとマグーンの脳幹網様体賦活系

その後、モルツイーとマグーンは、脳幹の種々のレベルの網様体、とくに中脳網様体を刺激（覚醒反応を引き起こす）し、あるいは破壊（睡眠 / 昏睡を引き起こ

す）する実験を積み重ねた結果、この問題を上行性または脳幹網様体賦活系 (ascending or brainstem reticular activating system) の説として包括した [Moruzzi and Magoun, 1949] 。そこで、脳幹を上行する感覚伝導路の側副路を通って、外界からの種々の感覚情報が網様体に伝わり、さらに視床の髄板内核および正中核群を含む非特殊核を介して、大脳皮質を広汎に賦活するという、感覚刺激による覚醒効果を説明した。

ジュヴェのモノアミン睡眠説

しかし、その後この説では説明することのできない REM 睡眠が発見されるに及んで、モノアミン作動性汎性投射系ニューロンの分布と推測されるその作用をもとに、フランスのジュヴェによって「徐波睡眠はセロトニン（5 HT）作動性ニューロンの働きで、覚醒および逆説睡眠はノルアドレナリン（NA）作動性ニューロンの働きによる」という睡眠モノアミン説が提唱された [Jouvet , 1967, 1969, 1972] 。強い支持を得てきている説ではあるが、中脳網様体を上行し、大脳を覚醒させるシステムとしては、これら 2 者（5 HT と NA）に加えて、1990 年頃から注目されたコリン (Ach) 作動性やヒスタミン (HA) 作動性投射系も視野に入れなければならなくなった [小山と香川、1999；香川ら、2004 の 総説を参照]。ジュヴェのモノアミン説は中枢説と化学説の両方をうまくとりこんだ魅力的なものではあるが、ラットを用いてこれらの各ニューロンが含まれる縫線核や青斑核を電気刺激しても NREM 睡眠や REM 睡眠は必ずしも起こらず、これだけで単純に説明することはできない。昼夜リズムや睡眠・覚醒リズムの活動が、このような脳幹網様体を上行する系を介して脳全体に広範に作用し、視床下部－下垂体系に中枢機構をもつ内分泌活動にもリズムを生ぜしめると考えられる。

このように視床下部は、生体情報を統合しつつ睡眠・覚醒の状態のスイッチングを行なう場として注目されている。すなわち、視床下部前部にある「睡眠中枢」としての腹外側視索前野（VLPO）神経核群と視床下部後部より脳幹にいたる「覚醒中枢」としてのモノアミン系（ノルアドレナリン性の橋被蓋青斑核、セロトニン性の背側縫線核、ヒスタミン性の結節乳頭核)、さらには視床や前脳基底部を介して大脳全体の機能状態をコントロールしている、コリン系 [橋被蓋核 (pedunculopontine tegmental nucleus, PPT or PPN) および外背側被蓋核 (laterodorsal tegmental nucleus, LDT or LDN)] も加えた、睡眠 / 覚醒の両中枢の間には互いに抑制性の軸索投射がみられることが明らかにされ [Saper et al.,2001] て睡眠説は多様化している。

睡眠研究と睡眠障害に対する光療法

ジュヴェのレム睡眠の発現に関する神経機構の存在の解明 [Jouvet, 1967] より 38 年後の現在、睡眠と覚醒に関する神経機構の研究は大きく発展しているが、今なおプロスタグランジン、アデノシン、神経ペプチドを含む睡眠物質やオレキシン神経系、ヒスタミン神経系のような覚醒中枢の活性化について、さらには種々の睡眠・覚醒のモデルや仮説の提唱など研究が進んでいる。ともかくも視交叉上核から覚醒と睡眠の発現をもたらす神経機構へ伝えられる神経活動によって、ヒトでは夜間に眠って日中は覚醒するという概日リズムが生み出される。この睡眠覚醒のリズムが損なわれると、概日リズム睡眠障害、老人性睡眠障害、季節性感情障害（うつ状態）などの症状が現れる。これに対して､照度 2500 － 3000 ルックスの光を約 2 時間照射して、望ましい時間帯まで障害者の睡眠相をシフトさせて治療するという「高照度光療法」が施行されている（渡辺、2001)。

現在の科学が教えるところでは、NREM 睡眠、REM 睡眠、覚醒のそれぞれの状態を発現させるのに中心的役割を果している神経組織があり、これらの組織部位の活動のバランスによって、睡眠⇔覚醒、REM 睡眠⇔ NREM 睡眠が交互に生じるとされている。覚醒時には脳幹のアミンニューロンは最大の活動を示し、反対に REM 睡眠時にはアミン系は活動を停止し、コリン系は上昇するなど、アセチルコリン、ノルアドレナリン、セロトニン、ヒスタミンなどの神経伝達物質が重要な役割を演じるというのである。

なお、往々にして看過されがちであるが、この脳幹網様体の全領域に対して大脳皮質、とくに知覚運動野 [Kuypers, 1958 ; Kuypers and Lawrence, 1967]、小脳核とくに室頂核 [Walberg et al.,1962]、および上丘 [Kawamura et al.,1974] から広汎な投射がなされている。従って、脳幹にある覚醒・睡眠の機構を維持する働きは、末梢感覚器官から大脳皮質までの脳全体の活動に依存しており、これらの複雑な神経回路から成るシステムが関与していると考えておかねばならない。そして、以上考察したこれらの総体的働きなるものが外界とのズレに対して統一的に適応する生体活動に他ならない。

34 節　生のリズムと環境と「ズレ」

「ズレ」を感じる感性

一方、このような人間の生のリズムと環境、もしくは

人間の生のリズムに基づく活動と環境との関係は当然のことながら人間の生の在り方、生の様態に対しても支配的であり、人間の生のリズムのいまひとつの表われである感性面における活動にもそのままに反映されてくる。例をあげるならば、既述のサーカディアンリズムのように、陽が昇り陽が沈むことによって感性の働きは上下し、太陽との関係において地球上の潮の干満があるのと同様に体内をめぐる血液の動態は変動する。このような身体の在り方の変化は人間のいわば気分を変え、芸術の表現といった感性もしくは生のリズムの外化の働きを通じて表に現れてくる。また、宇宙の星座の動きとサーカディアンリズムの間にも密接な関連性は認められるであろうし、より小さな規模の現象としては人間を取り巻く自然の中に息づくリズムや時間の秩序とも人間の生のリズムは深く関係している。そのような、人間にとってリズムが告げる時間上の差異と、視覚上のいわば瞬間的差異との関わりの一例として、風にそよぐ木々の葉ずれの音に接して、人間はしばしば「ズレ」の中に秩序を感じることがある。

ギリシアの神殿の柱は平面図で長方形をとる基台上に、神殿を囲んで四囲に立てられているが、長尺方向の神殿を挟む左右両側の柱は正面方向から眺めて、地面（＝床）に対して垂直でなく内側に傾斜して建てられているため左右が平行ではなく、またその床も平面としてではなく、中央部を高くして作られた。いずれも、人間の視覚における錯覚（錯視、visual illusion）を修正するためのズレであり、このようなズレを含んだ建物を遠方から眺めた場合に、柱は垂直に、床は水平に「見える」ことになり、外観的につまり人間を取り囲む環境や自然、世界における、目に見えるもの、耳に聞こえるものとわれわれが呼ぶところの外観に内在する「正しさ」や「秩序」を追求したギリシア人の思惟の特性を建築という形態において表わすことによって、究極の美を追求したものであると説明されている。

同じ印象は、平安神宮の新緑の頃の右近の橘と左近の桜にはさまれた大極殿（神殿）の朱塗りの柱を正面の離れたところから見たときの線の美しさにも通じている。また、一見ハーモニーの完全さを表象している左右対称性（シンメトリー）の問題に関して、精神医学者の島崎（1961）がエレガントに示しているように、写真を人工的に作った左右対称の人の顔貌や風景の作品からは、凍りつくような冷たさと不自然さが醸ち出される。自然と人間の創造を融合させた芸術である造園にしても、天空の調和・数比例の美に関連づけられて定規とコンパスを用いてデザインしたようなベルサイユ宮殿の庭園の整然とした幾何学的美しさとは対照的に、龍安寺の枯山水庭園 [Van Tonder et al., 2002] や小川治兵衛作の無鄰菴の池泉回遊式庭園には、どこからみても規則性をもったハーモニーの美はみられないにもかかわらず、ヒトの手によって作り出された「自然」に内在する秩序を直感させられる。

さらに、この秩序を媒介として自然そのもの＝宇宙の秩序を透視させて、飛び石の乱れでせせらぎを作り出した造園師の完成の音がひびいて来てわれわれの感動を呼ぶ。このような美的感覚に基づく精神機能がどのように引き起こされるのかを解釈することは難しいが、少なくとも、聴覚系や視覚系レベルの高次機能だけを論じていては解決できないことは確かで、ここには言語野、情動系、空間認知系も関与していると考えるのが自然である。察するに、斜めに物体を傾けて眺めた時に生ずる立体（奥行き）的視覚認知に関係する頭頂連合野の一つである PG 野近傍 (PF, PFG, PG, Opt, IPS, POa, など) は、既に述べたように視覚性および聴覚性の背側経路の重要な中継点と考えられている領野で、視空間認知と共にテンポのズレや音空間を含む音楽言語 (Musiksprache) は恐らくこの領野およびここから前頭葉の背側運動前野へ向かう連合線維投射系に関連するものであろう。

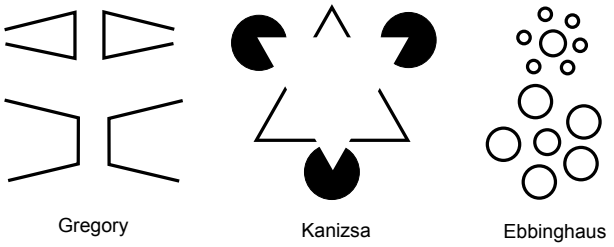
錯視

視覚心理学において錯覚 (illusion) の問題はよく研究されている。対象の大きさ、形、色などの関係が対象の客観的な関係と大きく異なって知覚されるもので、有名な錯視の図としては、たとえば、ドアが後方にあるように見えるか、前方に見えるかという遠近法描画の錯覚を問題にした Gregory の奥行知覚の図や、欠けた延長線分をゲシュタルト的に見ると三角形が浮き出る（または、知覚が如何に文脈依存的であるか）という Kanizsa の図、また、同じ大きさの円であっても、周囲が小円で囲まれた時と大円で囲まれた場合とを比べて見たとき、前者の状況の時により大きい円として見えるという Ebbinghaus の図などがある（図５０）。

錯聴

聴覚心理学において、この種の錯覚、すなわち錯聴について考えてみよう。音の強さ、長さ、テンポ、音色、リズムなどにどのように関係してみられるのだろうか？ここで、強いて、これらの錯視、すなわち、視覚のズレの図に、思いつくままに音楽的類似現象タイプの比較を試みてみよう。Gregory の図はポリフォニーにおける声

図９－２



（図５０）図９－３４－１：３つの錯視の図形。グレゴリーの例（左）では遠近に、カニッツァーの例（中央）では三角形の輪郭に、エビングハウスの例（右）では中央の円の大小に、各々錯視による主観的認知ないし知覚の差異（または偏差）が生じる。例えば、カニッツァーの錯視図形では、物理的には輪郭がない正三角形の辺が、周囲の刺激の影響によって、主観的輪郭あるいは幻の輪郭 (illusory contour) として知覚されるが、このときには視覚野「V2」ニューロンが反応すると言う [Peterhaus and von der Heydt, 1989]。

部毎の強弱による奥行きに、Kanizsa の図は音としての意味は連続しているが挿入されている休符の役割、たとえば、ためいき suspirationes の表現に、Ebbinghaus の図は楽曲の中のおかれた位置により、前後の関係によって、その音符のもつ音の高低、長短、強弱が異なって感じられるという具合に、あるいは、或る音、たとえば上の譜例の♭●を意図的に低く、♮（ナチュラルの記号）●を高く演奏することによって、次に置かれた音の響き・意味を、通常の場合とは異なって聞こえるようにすることによって、錯聴すなわち聴覚のズレを生ぜしめる、と解説するのは可能である（図５１）。

錯聴であるかどうかはともかくとして、実際の演奏ではこうした音高を意識的に「低目に」あるいは「高目に」ずらすことが行なわれている。おそらく錯聴現象と結びついた「快」の感情の喚起のためである。最近の論文の中にも、聴覚刺激と視覚刺激が同時に異なる位置から与えられると、音源が視覚刺激の方向にずれて定位される（腹話術効果）とか、視覚対象が動くと静止音源も動いたように感じるというような、各々、空間知覚と運動知覚に視聴覚間で補助的ないし補完的な関連が認められるという神経心理学的なものが見られる [Kitagawa and Ichihara, 2002]。

（図５１）図９－３４－２：錯聴の例。右は Ebbinghaus の錯視の図を錯聴化したもの。すなわち、周囲の刺激の影響により実際の音の高低と違って知覚される。

実際に、17・18 世紀頃の音楽作品では f（強音、聴者に強く働きかけるエネルギー）と p（f の逆）を効果的に組み合わせ、f － p、p － f を響かせることによって遠近の効果を（錯聴として）出している。また、原則的にではあるが、音階を上行していくときは徐々に響きを弱くしていき、下行するときは逆に強くしていくと均一な響きを聴くことができる。これを行わないと低音部分も高音部分も共に聴き難くなる。これは基音と倍音の関係によってもたらされるもので、錯覚とは言えないにせよ、倍音の多い低音部分で基音を選別させ、また高音部分では倍音が乏しいため逆に強く聞こえ過ぎる基音の響きを抑制するための聴覚構造に対する補助手段である。このように、「錯覚」というのは、現実にある感覚印象が歪められて知覚されるという生理的現象である。

幻覚

これに対して、精神病理学的には異常な、特殊な主観的な知覚障害に属する「幻覚」がある。神経生理学的には感覚 / 知覚の入力から処理に関わり認知成立にいたる情報処理機構に異常をきたした現象として一般的には捉え得るであろう。

また、これは思考や表象といった精神内界の過程が外界のものとして知覚体験される、妄想に近い内的確信とも考えられ、エスキロール (Esquirol) やバル (Ball) などの古典的な定義に従えば「対象なき知覚」（perception sans objet）である。

精神病者にしばしば幻覚がみられるが、統合失調症者にはなぜか幻聴が多い－というより殆ど然り－。多くは「声が聞こえる」と表現わする。「頭の中で響く」ということもあり、「外から聞こえてくる」と表現されることもある。これは感情的確信によるものであり、意識状態は清明である。臨床的には意識混濁に伴って起こるいわゆる慢性アルコール中毒者のせん妄状態にみられる幻視と対比される。また幻聴の特殊型として考想化声 (Gedankenlautwerden) といって、自分の考えていることが声になり、それが人に知られてしまうと訴える患者もいる。幻覚はすべての感覚様態にみられるもので、幻聴、幻視の他に幻味、幻嗅、体感幻覚があるが、われわれがここで問題としている幻聴についてあらためて考えてみ

注]：バルによって「対象なき知覚」と簡略化されて定義されたとされる前のエスキロールのもともとの定義は「五感の射程内に感覚を引き起こす外的対象が存在しないにもかかわらず、その感覚が現に生じていると内的な確信を抱く人は幻覚状態にある（Esquirol, 1838）」というものであった。

ると、健常者には外界に何も音が聞こえていないのに患者の「頭」の中に音や声が響いていると言ういわゆるエスキロール型のものと、川のせせらぎや森の中の風の音や鳥の鳴き声やざわざわした人声や物音が実際に聞こえる中でそれを意味のある声として聞こえる（将しく解釈してしまう）幻聴と少なくとも２種のタイプがある。

これを神経科学的に考察すると、前者の幻聴は第一聴覚野 (A1) の活動があって、それが引き金となって聴覚連合野や言語野が興奮するというのではなくて、新たな外部からの入力なしに、聴覚性連合野ないし言語野を含む側頭葉（主に右側）や前頭葉（島域や前部帯状回を含み)、右側視床から成るネットワーク内に「異常な」活動が見られるという現象であり、画像解析の研究結果はこれを支持している [McGuire et al., 1993; Shergill et al., 2000]。他方、後者の幻聴は外界の音に対しての意識状態に関係するという類で、fMRI を用いて幻聴状態のときの患者のヘッシェル回の活動をきれいに示した画像の研究報告もされている [Dierks et al.,1999] 。幻聴を訴える意識清明の患者が妄想的観念に左右されて実際に短い時間に「聞こえた」断片的内容を数分間にわたって説明することが往々にしてあることを精神科医は経験している。

統合失調症との関連で言えば、シュナイダーは①考想化声、②話しかけと応答の形、③批判する内容の声、を病者の持つ幻聴の３つの形式として重視し、これを第一級の症状とした [Schneider, 1950]。これは聴覚伝導系の障害とは明らかに異なるもので、内言語が関わる思考 / 概念形成系の異常であることを示唆している。この聴覚連合野にあるドーパミン投射をうけるニューロンの D2 受容体の感受性の亢進などと結びついた幻聴の研究を行なうことにより精神疾患の解明が一層進展するように思われる。突飛な類推であるが、音を聴くことなしに楽譜を読んだだけで聴覚連合野が活動し音が響くという「訓練によって形成される」「内聴」といわれる音楽家の聴覚皮質内の神経機構とつながるものはないのだろうか？これらは広い意味での記憶や想像が働くことによって清明な意識レベルで表われる「心的イメージ（心像)」と言われるものである。ある意味では「病的」なものも「芸術的」なものも創造的なものであろう。「記憶の貯蔵庫」に相当する聴覚連合野（視覚的イメージの場合は視覚連合野）と情動系に関与する側頭連合野が活動し、同時にこれらの後連合野にフィードバック的に入力される前頭連合野（前頭前野）からの意識的・「精神的」な制御機構が働いて何らかの内部的な情報処理の変容が行なわれるのであろう。このような脳内活動が反映されていると見るべきである。

内聴

現象面から見ると、音楽家にとってごく当たり前の精神の働きである「内聴」と、病的精神の異常と一般に考えられている「幻聴」との間に、「共通点」のようなものがあるように思える。これを言下に否定する前に一呼吸おいて、そもそも、音楽家の脳は「正常」の域を超えた活動をしているにもかかわらず、それを「病的」とさせない､何か別の内的働きを受けている､つまり「再構築」された脳として活動し得るのだろうか。そうかもしれない。あるいは全くそうではなくて、少なくとも現象学的には、病者にみられる「幻聴」があたかも自分の外から聞こえてくる一種の囁きないし（仮性）知覚として体験されるのに反して､訓練によって獲得された音楽家の「内聴」は連合野の活動の結果による自分の頭（脳）の中で聞こえるアクティブな響きであるという点で両者は異なり、従って病者におけるものとは区別されると言える。また以下のようにも推論し得ようか？ すなわち統合失調症者の聴覚連合野は音を或る瞬時にそれを自覚することのない異常に変化した受容率でもって知覚する（安永理論、後述、45 節を参照せよ）ことが起こり得、もしそうだとすれば、それを時間的・空間的に統合して現実的に意味のあるものとして認知することができない心理状態である。

これに対して、音楽家の脳はズレを伴ったリズムやテンポが浮遊する自由度の中にあって「数学的法則性」を理解すべく厳しく訓練（トレーニング）されているとき、言語野を含む広義の聴覚連合野内で前頭前野からのフィードバック入力を得て、意味のある音として、また高度な法則に従って構築された、体系づけられた、かつ他者にそれを伝達でき、他者もそれを受容し得る、という意味での響きを「正しく内聴できる」と考えられる。つまり音楽家にみられるこのような「内聴」は、社会性を帯びた、他者との共通認知が可能であり、かつ、意識的にくり返して同一の響きを「内聴」し得るところに、病者にみられる「幻聴」との差異が認められるであろう。

35 節　歩行のリズム

ヒトの脳のもつ「ズレ」の修正機構

自然界における一存在である人間の脳（ヒトの脳だけではないだろうが）のもつ「ズレ」の修正機構は大脳辺縁系のもつ感情や情動の不断の起伏（ズレの反映）としても発現される。また、新皮質のうち最も発達した領域

である（理性的規律性を本性として持っている）言語野と前頭前野とが互いに強く影響しあって、演奏、表出の過程で「ズレ」の「組みかえ補正」を行なう（後述､36 節、37 節、参照)。ここで言語のリズムが問題となるが、多くの民族音楽にはその民族がもつ固有の（特徴ある）テンポ、リズム、抑揚の規則性がある。

古代ギリシア語の朗誦に歩行用語が採用されている

古代ギリシア語の朗誦にはリズムの長短に関わるアルシス (arsis) とテーシス (thesis) と呼ばれるものがあった。これは本来、足の上げ arsis と下げ thesis から来たものであり、これに強弱、高低のアクセントがどの程度に、どのように結びつくかは容易に決定し難いようである。arsis と thesis を弱強とする考えもあれば、逆に強弱とする考えもある。

ほぼ同様の法則はラテン詩にもあてはまるが、ラテン詩・ラテン語の場合にはローマ時代・古典期のそれと、キリスト教的中世文化における場合とではまた判断が異なる。音楽において arsis を弱拍、thesis を強拍とするのはほぼ１９世紀以来の事柄に過ぎない。

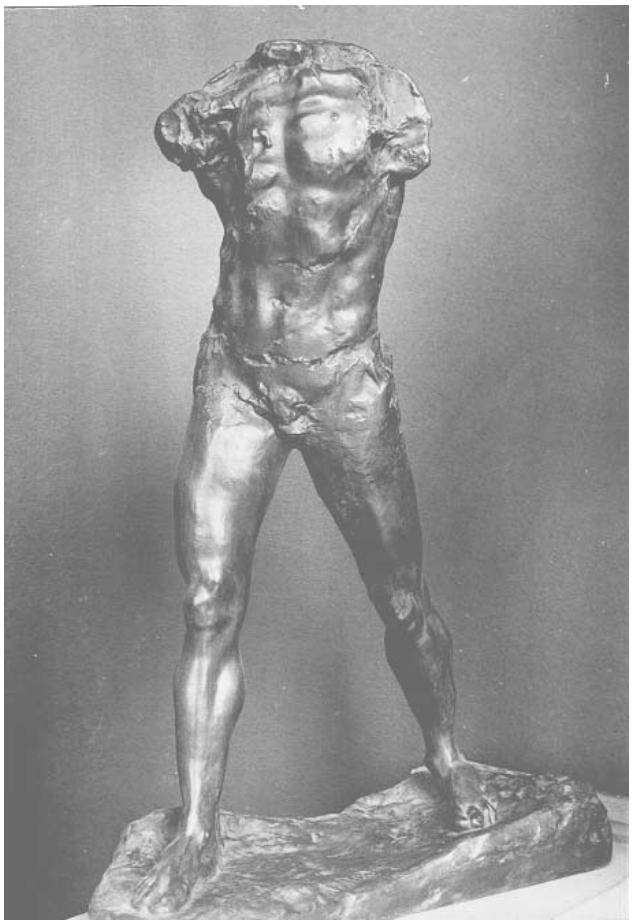
このような歩行の用語を使用しているように脳幹・小脳の歩行運動開始系（後述、36 節）と大脳皮質･線条体･視床の運動調節系（前述、9 節）が関係して微妙なゆれが言語・音楽表現には含まれている。これが微小になればなる程表現形態としては崇高になり、大になれば美的になるという。このことは既に古典ギリシアにおいて、プラトンが指摘しており、最終的にはゆれ動きの少ないものによって良く整えられたコスモスの法則や秩序は表わされると言われている。これもまた芸術の本質的要素のひとつとして長くヨーロッパの歴史の中に生き続けた考えであった。因みに、ナチスドイツの軍隊の歩行はアルシスとテーシスの区別を持たない冷たい感じのする型式であった。

われわれは生物学という「ズレ」を多く含む学問上の立場から、本来的機能として「ズレ」を有している脳髄を働かせて、美を対象とする芸術（音楽、絵画、彫刻、演劇など）の分野で、「ズレ」の修正の問題について論じている。「自然のもつゆれ動きつつある実体（実際の存在)」と「ゆれ動くことのない人間の思惟が捉えた自然に関する理論」との間の「ズレ」を視覚系においても、聴覚系においても「修正」して、一つのゲシュタルトの範囲内におさめるという行為が美の追求であると言えないだろうか。人間の脳には、ゆらぎを許容し、ゆらぎによってかえって「ズレ」を巧みに修正しようとする機構が備わっているものと思われる。

中脳の歩行ジェネレーターとその活動

身体の動き（体性運動）や形象や音の動きを感覚的に捉える（視覚性運動 visuomotor; 聴覚性運動 audiomotor）機構やリズムの形成機構などには、歩行とも関連した小脳・中脳および脳幹の領域が関係するというデータが得られている。すなわちネコの脳幹の様々なレベルを切断して自発歩行の開始機構（歩行リズムジェネレーター）の研究を行なった結果 [Shik and Orlovsky, 1976; Mori et al.,1977; Matsukawa et al.,1982; Noga et al.,1991]、視床下核（この核および近傍の領域をまとめて視床下部歩行野 subthalamic or hypothalamic locomotor region, SLR という ）からの刺激が中脳下丘腹側の楔状核および脚橋被蓋核 (PPN) の背側部にある中脳歩行野 (mesencephalic locomotor region, MLR) に伝えられることが明らかになった。すなわち、SLR が自発歩行の開始機構に関与しており、その作働を待って歩行運動が駆動され、歩行が実現される（図５２)。

＄（図５２）



（図５２）図９－３５（追加）Rodin の歩く (on marche)

PPN の腹外側部には筋緊張の制御に関与する領域が存在する。また、この PPN を中心とする中脳の歩行関連領域に対しては、大脳辺縁系、前頭葉皮質、大脳基底核からの投射があり、その上、PPN へは中脳の黒質網様部 (SNr) からの GABA 作動性の入力や視床下部内の主たる性中枢である視索前野 preoptic area(POA) からの入力も存在する。PPN のニューロンはアセチルコリン (acethylcholine, Ach) やサブスタンス P などを含み、ここからは報酬関連活動の強化学習の成立に関与するものとしての黒質緻密質 (SNc) のドーパミン細胞への投射がなされるほか、視床、大脳基底核さらには「自動的」歩行運動の制御に関係する橋・延髄内の網様体脊髄神経路の起始核ニューロンを含む広い領域に刺激を与え、呼吸・循環器系や覚醒機能にとって重要な役割を演じている [Oda and Nakanishi, 2000]。

このように歩行を合目的に継続する機構は自律機能の中枢の視床下部の制御下にあるほかに、大脳皮質からも直接的に、また間接的に大脳基底核を介して PPN →脳幹網様体→脊髄運動ニューロンという神経回路網を活動させて、歩行時における随意運動に随伴する自動的運動を発現させ巧妙に調和させている。とくに発達期の運動制御の形成におけるこの神経ループの役割は大きい [高草木ら、2001]。これを総括し総合する形で筋緊張を含めた歩行運動の学習に小脳が関与している。近年森ら (2001) はネコを用いて、鉤状束 (hook bundle) と呼ばれる線維が通る小脳白質正中部を微小電気刺激して歩行を誘発することに成功した（小脳歩行野、cerebebellar locomotor region, CLR と命名した）。その部位は小脳の室頂核から脊髄や脳幹（網様体や前庭核など）への遠心性線維が集中して通過する限局した領域である。さらに森 (2002) はサルが実験室内で直立二足歩行をした場合に小脳の虫部および傍虫部に限局してニューロンの活動が増加することを報告した。

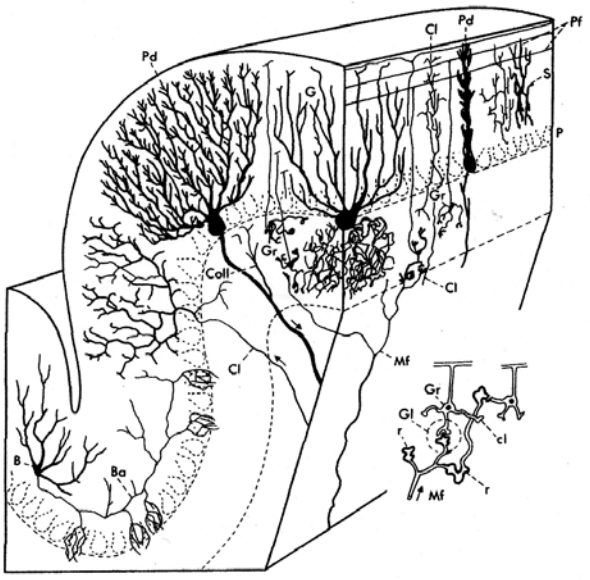
36 節　小脳の構造と機能　— そのリズミカルな運動と思考作用

小脳の構造と線維結合

以下に、小脳に関する神経連絡回路網の形成を中心とした脳の発達について記述し、続いて、大脳との関連についても若干述べることにする [川村、1986 参照] 。小脳はもともとは脳幹とくに延髄および脊髄の機能と関連して発達した器官で、組織学的には菱脳胞の背側部の翼板 (alar plate) と呼ばれる領域から発生する（ただし、少なくとも一部は中脳胞後部の翼板も関与することが知られている）。胎生中期にこの領域が発達し、左右の菱脳唇→正中部で融合して小脳板が形成され、その部位のニューロンが誕生し、移動し、大型のプルキンエ細胞および小型の顆粒細胞、星状細胞、ゴルジ細胞、バスケット細胞の 5 種類、および新しくルガロ細胞 [Laine and Axelrad, 2002]、単極性刷毛細胞 [Dino et al., 2000] を加えて 7 種類の細胞に分化して、所定の位置に定着する。教科書的には、大脳皮質と異なり、小脳皮質はどの領野をとっても、基本的に同一の構造を呈する、分子層、プルキンエ細胞層、顆粒層の 3 層から成っている（図５３）。しかし個人的な印象ではあるが、顕微鏡下で注意深く観察すると、領域的に苔状線維終末像に僅かな形態上の違いが認められる。今後の慎重な検討が必要と思われる。　$（図５３）

ともかくも、基本的には構造上の差異は領域的に無いと言ってよく、プルキンエ細胞は下オリーブ核から興奮性の登上線維 (climbing fiber) の入力を受け、顆粒細胞は脊髄および橋核、三叉神経核、前庭神経核、網様体など下オリーブ核以外の「小脳前核」と呼称される脳幹諸核から、これまた興奮性の苔状線維 (mossy fiber) の入力を受ける。

プルキンエ細胞は小脳における唯一の出力ニューロンで、抑制性伝達物質 GABA を含む。小脳皮質内にみられる上記５－７種類の細胞間の神経回路をみると、プルキンエ細胞には顆粒細胞、星状細胞、バスケット細胞の軸索がシナプス結合し、顆粒細胞にはゴルジ細胞の軸索がシナプス結合している。また、顆粒細胞の軸索は特徴的で分子層まで上行し T 型に 2 分し平行線維（parallel



（図５３）図９－３６－１：小脳皮質の組織学的構造を示す模式図（Brodal, 1981）

fibers）となってプルキンエ細胞の扇状に広がる樹状突起の中を貫く形で小葉を横（＝左右）方向に皮質表面を、ネコで約 1.5 － 3mm 走り [Fox and Barnard, 1957]、抑制性のニューロンであるプルキンエ細胞、星状細胞、ゴルジ細胞、バスケット細胞の樹状突起に興奮性のシナプス結合を与えている。

バスケット細胞はプルキンエ細胞層のすぐ表層方向で背方に位置し、その樹状突起はプルキンエ細胞のそれと同じく小葉の横断面にのびている。バスケット細胞の軸索は小葉を超えてプルキンエ細胞の背方を約 1mm 走り、側枝を出してプルキンエの細胞体をとりまいて、それとシナプス結合をもつ。興奮性の顆粒細胞の軸索である平行線維によって、同一小葉内の一連のプルキンエ細胞が活動し、他方、抑制性のバスケット細胞の軸索によって、小葉間を超えて一連のプルキンエ細胞が活動することを保証する小脳皮質のこのような特殊な幾何学的構造は、小脳皮質の機能を解析する上で興味深いものである。

発達中にみられる小脳組織内では、これらの細胞間の連絡が完成し、同時に、脊髄や脳幹の小脳前核からの線維の軸索終末との間にシナプス結合が形成される。同時にプルキンエ細胞からの脳幹および間脳へ向かう出力線維が ―大部分は小脳核を介して間接的に、一部は前庭小脳皮質から前庭核へ直接的に― 発達中の神経細胞へ送られてシナプス結合を形成し、中枢神経系の構成の枠組みがつくられる。

中枢神経系組織は発生学的に神経管 (neural tube) から、しかもその尾部から吻側へ向かって順次発達する。小脳や下オリーブ核へと軸索を延ばす脊髄ニューロンは、背側および腹側脊髄小脳路（DSCT & VSCT, dorsal and ventral spino-cerebellar tracts）および 脊髄オリーブ路（SOT、spino-olivary tract）などの神経路を形成して、下小脳脚に入り、標的に向かって進行する。と同時に、これらの脊髄内のニューロンは、歩行リズムに関連する上述の神経機構や前庭・平衡・姿勢・運動機能関連領域からの下行性神経路を介した入力を受ける準備をする。同様のでき事が、次いで延髄レベルで、そして橋のレベルで、小脳の発達に並行して起こる。

一方、延髄にある下オリーブ核のニューロンも橋にある橋核ニューロンも発達中の橋・延髄レベルの、すなわち後脳胞の、翼板から生じる神経細胞群が腹側方向に移動して定着・分化したもので、背側方向に移動した小脳内神経細胞とは同一ないし連続した起源を有するものである [Ono and Kawamura, 1989, 1990] 。下オリーブ核へは脊髄や脳幹の種々の神経核（主として赤核、その他に上丘や三叉神経核など）からの入力があるが、大脳皮質運動領からのそれもすでにネコのレベルで僅かながら存在する。他方、橋核への主たる入力は大脳皮質からのものであり、しかもその全新皮質域から大量の入力線維を受ける。そして、それぞれ、下小脳路と中小脳路を通って情報（入力）は小脳のプルキンエ細胞と顆粒細胞の双方にそれぞれ伝えられる。

脊髄小脳

脊髄からの深部感覚性の刺激は大部分が下小脳脚（背側脊髄小脳路、Flechsig 路）内を通り、ごく一部が上小脳脚の表面（腹側脊髄小脳路、Gowers 路）を通る。延髄の後索核でシナプスをかえた小脳求心性線維によって伝えられる深部知覚（関節の位置覚など）もあるが、これは脊髄小脳路によって伝えられるものと異なり意識にのぼり、認知することができるものであるとされ、臨床神経学上一般には区別されている。以上の脊髄小脳路を経由するインパルスを受ける領域を「脊髄小脳」と定めるとすれば、小脳の虫部と中間部にあたる。とくに前葉で広い領域を占める。機能的には姿勢の保持ないし調節に関与する。

橋核小脳

中小脳脚は橋核からの苔状線維のみから成る求心性線維群である。小脳半球は新小脳あるいは「橋核小脳」と呼ばれ、橋核からの投射を多く受ける領域といわれているが、ネコの実験データからみる限り必ずしも正しい表現とはいい難い。系統発生的にみてサル、ヒトと動物が高等になるにつれて、大脳（新）皮質・橋核・新小脳（橋核小脳）という 2 つのニューロンによって構成される系が著しく発達する。30 年代から 50 年代に行なわれた破壊実験後の症状を文献的に調べてみると、ネコやイヌで小脳半球に傷害を与えてもさしたる変化はみられないが、サルを用いた例では同側性に筋緊張の低下（hypotonia, γ 系の機能低下を示す）、動作の拙劣化、四肢の運動失調（協同不能 asynergia）などが認められるようになる。上肢では物を把むときに、下肢では歩くときにはっきり現れる。傷害が歯状核にも及んでいるときには、これらの症状は著明に現われ長く続き、振戦も加わる。この振戦は動物が随意運動を行なうときはっきり現われてくる。

小脳の生理学とその病理

ヒトの小脳半球は、皮質脊髄路系が関わる「随意運動」の調整に大いに関与している。小脳半球部・歯状核・視

床運動核・大脳皮質運動関連領野・脳幹および脊髄の運動ニューロンから包括される系が著しく発達することによって熟練を要する巧妙かつ迅速な運動が可能となる。したがって、ヒトの小脳半球の病変では筋肉の協同運動は非常に障害され（asynergia）、筋収縮の程度や方向や大きさがうまく釣り合った状態で適切に行なわれることがない。運動を行なう際に関係する一群の諸筋肉間の調整が乱れるということは、個々の筋の緊張の変化がトータルとしても、個々のベクトルとしても動的に正しく捉えられず、測定障害（dysmetria）の連続の上に行動が成立するということである。つまり円滑な運動が解体され（decomposition of movement）単に簡単な運動のみが続行される。

半球部と並んで虫部のうち発生的に新しい部分である虫部中央部（虫部葉と虫部隆起）に病変がある時にはどのような症状が現われるであろうか。ネコやサルを用いた生理学的実験からこの領域は遠隔受容刺激 teleceptive impulses（視覚刺激と聴覚刺激）が到達する部位であることが明らかにされている [前述、4 節、Snider, Stowell, Eldred ; 1944, 1951]。解剖学的にも視覚および聴覚系の伝達経路が明らかにされている [川村、1984]。この新皮質に属する虫部中央部の領域は、原始皮質に属する片葉、小節と同様に――互いに異なる機序をもってはいるが――眼球運動に関与しており、とくに動く物体に対してその位置を " 脳 " の内で計算して定め（orientation）、それに従って反射的に反応するなど、いわゆる視覚性および聴覚性の運動性反射に関係しているように思われる。より詳しくは専門書 [たとえば Ito, 1984；伊藤ら , 1986；Schmahmann, 1997] を参照されたい。

登上線維と苔状線維

小脳には随意性および不随意性の運動性の入力の他に、体性感覚、視覚、聴覚を含めて多種の感覚の入力があるが、これらの入力は登上線維と苔状線維という二重のシステムに分かれて小脳内に入り、処理される。全体的に調和のとれた習熟を要する複雑な運動が円滑にして無意識的に行なわれるためには、運動系の活動が正常に統合され、一連の筋緊張の緩徐的変化と筋の収縮と弛緩を起こさせる神経機序がスムーズに働くことが必要な条件である。しかし、これを十分ならしめるためには、これら小脳遠心路（後述）が関与する小脳の活動の他に、小脳求心路が関与する種々の感覚受容器――とくに伸展受容器（筋紡錘とゴルジ腱器官）――からのインパルスが正しく入力されていなければならない。

この他に小脳には、登上線維、苔状線維とは別系統の入力として、青斑核からのアドレナリン含有線維、縫線核からのセロトニン含有線維が小脳皮質に至ることが Falck と Hillarp（1962）の組織蛍光法を用いて示されているが、これらの線維と古典的な苔状繊維と登上線維との関係はなお明らかにされてはおらず、小脳の構造と機能は未だ充分には明らかにされたとは言えない。

以下にオリーブ小脳路（登上線維系）と橋核小脳路（苔状線維系）について詳述する。

オリーブ小脳路

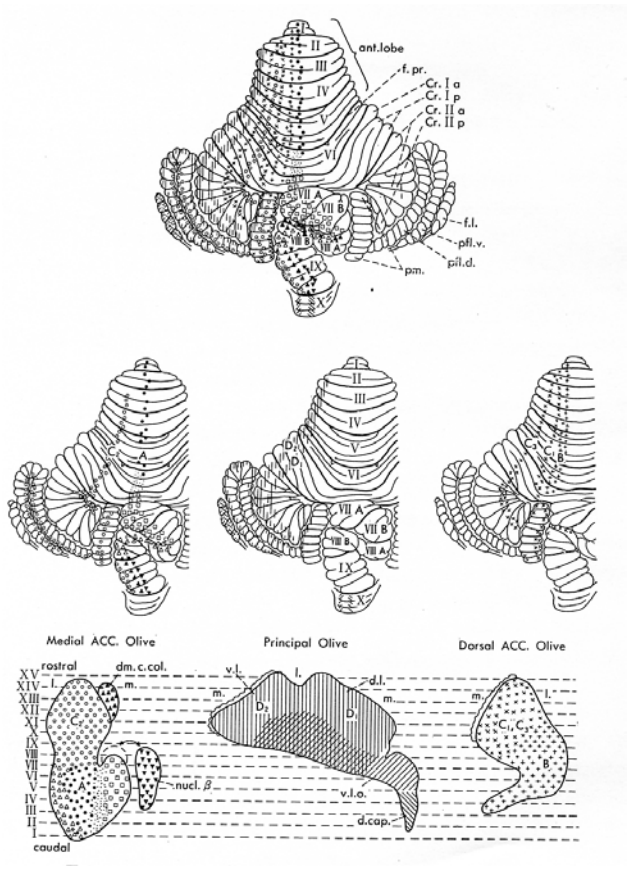
オリーブ小脳路は完全な対側性投射系で、橋核からの苔状線維（これは中小脳脚を通る）を除いて、他の「小脳前核」からの小脳入力線維とともに下小脳脚内を通る。フォークト [Voogd,1964] は小脳の正常標本および求心性線維と遠心性線維の実験的研究をもとにして、ネコの小脳で前後方向の構成パタンをはっきり示した。虫部ではほぼ矢状方向に、半球部では外側に凸に帯状域がみられる。さらにフォークト [Voogd,1969] は、小脳の帯状に内側から外側に A, B, C, D, の名称を与えた。この帯域のあるものはさらに分けられた。

1970 年代以来のオートラジオグラフ法および HRP 法を用いた研究 [Groenewegen and Voogd, 1977; Groenewgen,Voogd and Freedman, 1979 ; Kawamura and Hashikawa, 1979 ;Brodal and Kawamura, 1980]、さらには生理学的研究 [Andersson and Oscarsson, 1978a,b; Armstrong et al., 1974] の結果、オリーブ小脳路（登上線維系）の構成が詳細にされた。図５４にみられるように、虫部では内側帯は内側副オリーブ核の尾半部から、外側の帯は背側副オリーブ核の尾外側部からそれぞれ求心線維をうける。オリーブ核内の起始細胞の位置から考えてこれらの両帯域はフォークトの A 域と B 域に相当する。半球部では、主オリーブ核から外側の D 帯域へ投射する。内側副オリーブ核の吻側半からと背側副オリーブ核の吻内側部からは中間部域（C 域）へ投射する。これらの内側および背側の副オリーブ核から線維をうける終止帯域は、それぞれ、C2 域および C1 プラス C3 域に相当する。主オリーブ核からの投射についていえば、背側板（dorsal lamella）からは D 1 域に、腹側板（ventral lamella）からは D2 域に線維を送っている。小脳皮質を電気刺激してオリーブ核内の起始部位を逆方向性の反応を指標として調べることによってオリーブ小脳投射系を研究したアームストロングの結果も、電流滑走（current spread）のために、若干の相違がみられるが、基本的

構成パタンは解剖学的な所見と一致する [Armstrong et al.,1974]。フォークトのB帯は背側副オリーブ核尾外側部から起こるオリーブ小脳線維をうける領域で、ここは直接に脊髄から、また、間接に後索核を介して後肢から入力をうける領域であるが一部前肢にも関係している。A帯とB帯では体性部位局在（前肢と後肢という大きな範囲で）の配列は、左右に内側と外側の方向に存在するが、一方、C1とC3の両帯域ではその配列が前後に大体VとIVの小葉間あたりを境にして存在する。C2帯には局在配列がみられない。

以上のように、オリーブ小脳路の終止領域に関して、ネコで、形態学的に大きく分けてA，B，C1，C2，C3，D1，D2の前後に（縦状に）走る7帯の帯状構造が存在することが証明された。生理学的には、B(b) 帯域がさらに5つのマイクロゾーン (microzones、微小帯域) にまで分けられるに至った [Andersson and Oscarsson, 1978a,b]。B(b) 域だけではなく他の帯域にも同様のマイクロゾーンの存在が今後の研究によって明らかにされることが十分予想される。　$（図５４）

少なくとも哺乳動物においては、登上線維投射はオリーブ小脳路に限られると考えられている。１本の登上線維が１個のプルキンエ細胞へという特別な関連があると言われているが、これは更なる検討を要する。実際標本を観察してみると皮質の直下または内部で分岐し、近傍の 2-4 個のプルキンエ細胞を支配していることが分かる。因みに、両側の下オリーブ核細胞の数を調べてみると、ヒトで約 100 万個で、プルキンエ細胞の 1/15 にあたる。また、ネコでは両側下オリーブ核細胞数は 12 万～ 14.5 万個でプルキンエ細胞数は 120 万 -150 万個でこれも 1/10 にあたる (Brodal, 1981)。

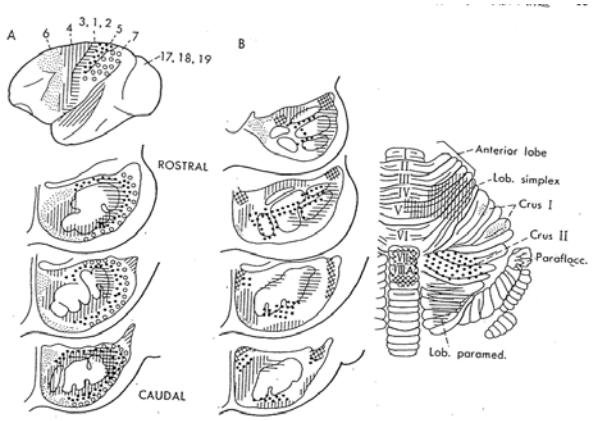


（図５４）図９－３６－２：下オリーブ核・小脳投射－登上線維系－の構成。同一記号で連結されている神経路（川村、1980; Kawamura and Hashikawa, 1981）

橋核小脳路

この投射系は対側性優位の両側性投射で、苔状線維のみから成る、中小脳脚（橋腕）を構成する。小脳の顆粒細胞にシナプスを作る。この神経路の投射パタンは上記のオリーブ小脳路の投射パタンとは異なり、橋核内の一定領域のニューロン群が小脳皮質の帯状域に整然と投射するようには見受けられない。すなわち、その橋核起始ニューロンは前後に縦状に配列した複数の細胞群（ときには横状、斜状に配列した細胞群）がまとまって小脳皮質の一定領域に投射するという構成パタンをとる。他方、橋核への最大の入力である大脳皮質からの線維の橋核内の終止パタンをみると、一定の大脳皮質機能領域からの線維は柱状構造（columnar organization）をもって、部位局在的に終止する。大脳皮質からの情報を小脳に伝達する中継核としての橋核細胞群の分布様式は、ある程度機能的に分離された複数の細胞群が縦状、横状あるいは斜状に柱状配列されており、情報システム上、集中（convergence）と分散（divergence）が有効に働くような構造を示している [Kawamura and Hashikawa, 1981]。以上のネコで調べられたこの構成パタンの原則は、サルにおいても認められる [P. Brodal, 1978a,b; 1979]（図５５）。基本的に同様のパタンがヒトの橋核小脳投射系においても存在することは確かであろう。また、動物が高等化するにつれて、橋核および小脳皮質内の「機能的」細胞集団間の重複は少なくなるように思われる。さらに橋核を中継して大脳皮質連合野からの情報を受ける小脳皮質領域の範囲は動物が高等になるほど、小脳の新皮質領域（半球部）が広くなっている。以上に見たように、橋核に関して、その細胞配列、大脳皮質橋核線維の終止様式、橋核小脳ニューロン群の分布様式などについて、比較検討して調べてみると、集中と分散の様式を保ちながら、動物の高等化につれてますます機能分化が明瞭化するように思われる。

$（図５５）



（図５５）図９－３６－３：サルの大脳皮質・橋核・小脳投射－苔状線維系－の構成。同一記号で連結されている神経路（P. Brodal, 1978, 1979）

小脳出力系 ―上行性と下行性

小脳は脳幹、脊髄の広範囲の領野から受ける種々の感覚および運動情報を処理して（後述）、それらの結果を前脳（終脳と間脳）、中脳、後脳（橋と延髄）内の下に記述する様々な神経細胞群へ送り返している。すなわち、考えられるすべての神経機能の　―その計算 (metric) された上でしかも自動的 (automatic) な働きを通して―円滑な活動に、大きな影響を与えていると言える。しかし、驚くなかれ、小脳からの遠心性線維の数は求心性のものの約 1 /40 に過ぎない [Heidary and Tomasch, 1969]。

「古い」小脳に属する「前庭小脳」（片葉と小節、flocculonodular lobe）のプルキンエ細胞は前庭神経核に直接線維を送っている。これに対して、「脊髄小脳」、「橋核小脳」と呼ばれる領域のプルキンエ細胞は軸索線維をすべて小脳核（内側核または室頂核、前後の中位核または球状核と栓状核、外側核または歯状核）に送っている。上述の微小帯域（マイクロゾーン）に小脳核 / 前庭核の細小域が相互に結合することにより密接な対応関係が生じ、機能単位としてのループを構成すると考えられ、俗称「小脳チップ」と呼ばれる。小脳核でニューロンを代えて後、小脳核からの遠心性線維は、上小脳脚（結合腕）および下小脳脚（索状体）を通って、小脳の外に出る。上小脳脚内の線維群は上行枝（赤核、上丘、視床核、視蓋前域へ投射）と下行枝（一部が延髄まで）に分かれる。下小脳脚の大部分は小脳求心性の線維で構成されているが、小部分が前庭神経核、橋延髄網様体、上部頸髄へ投射する遠心性線維を含んでいる。小脳外側核および中位核から出た軸索線維は上小脳脚を通り、中脳下部で交叉した後、その大部分は反対側の赤核（外側核からは赤核の小細胞部へ、中位核からは大細胞部へ）および視床の運動核（ネコの VL 核、VA 核；サルの CL 核、VPLo 核、VLc 核）に終わる。内側核（室頂核）から出る線維の主たる標的は、前庭神経核外側核（ダイテルス核）および延髄の巨大細胞網様体核と尾部橋網様体核で部位局在の関係が明らかである。本項（36 節）で別記されるが、小脳には運動性のほかあらゆる感覚様態の情報が入力されている。出力系としては、視床核からは上行性に大脳皮質に興奮が伝達されるが、赤核、上丘、脳幹網様体、前庭神経核などからは、下行性に脊髄や下オリーブ核などに投射がなされているので、小脳皮質・小脳核・脳幹諸核が構成する神経回路ループの活動は低次から高次にいたるまでの精神活動の形態基盤として重要な視点を提供するものである。

なお、小脳関係の構成、神経回路などより詳細な知識は他書（Ito, 1984; 川村、1986）を参照にされたい。

光源や音源を同定するニューロン

これに関連して、動く光源や音源の位置の同定には小脳－視蓋系が関与し、網膜から視蓋に入る視覚情報がズレの補正に関与することが明らかにされている [Robinson,　1972　]。他方では、静的な形や音の注視・聴 (attention) にはサルの前頭葉皮質内の弓状溝前方の主溝を中心とした領域に存在するニューロン群が関与しており [Suzuki, 1985]（前述、４節、参照）、後連合野から視覚、聴覚（さらに体性知覚）の高度に分析された入力をうけている。この他、情動系や自律系の入力もこの領域に送られてくる。こうしてみると、前頭前野ニューロンは視覚系や聴覚系の活動ないし情報の単なる「融合」というよりは、情動や内部環境および外部環境からの影響を含めた様々な要因を統括して、行動的意味へ変換 (connotational conversion toward behavioral significance) して記憶、意味づけを伴う修正を加えていると解釈することができる。

リズムとテンポの調節機構

リズム、テンポの形成は、脳幹、小脳、中脳、視床下部、線条体、大脳皮質を含み脳全体に、しかもあらゆるレベルで関係し、かつ各レベルでそれぞれ特徴をもっている。そしてこれらが全体として総合されたものが運動系に変換（convert）されて能動的表現がなされる。乳幼児が音の調べに応じてリズミカルに全身を動かし、ジャズのメッカ・ニューオルリーンズ市のフレンチ・クォーターで黒人の子供が手と足を巧みに動かして上手なテンポやリズムで踊っている姿をみると、皮質下レベルの本能的なものを感じさせる迫力がある。

先に述べたように中脳には歩行開始の領域（ジェネ

レータ）がある。そこから脳幹網様体内の幾つかの部位でシナプスを作りニューロンを変えて、脊髄の運動ニューロンへの投射がなされ、これを興奮させる。視床下部には大まかな昼夜リズムのセンター（ペースメーカー）があり、線条体には、純運動系の他に連合（認知）系、辺縁（情動）系をも包含した調和的、統合的バランス感覚のリズム調節機構がある。また、脳幹から身体感覚、聴覚、視覚、平衡覚、深部感覚などほとんどすべての感覚を受け入れている小脳の機能は無視することができない。

ヴァーチャル運動のイメージング

リズムというのは音にのみ伴って関連づけられるものではなく、光のフラッシュや踊りのステップなど、皮膚や粘膜を含む体性感覚や運動一般における、その開始と中止（ないし休止、断絶）の間の、一定法則下で反復されるインターバル（時間の流れおよびその時間を形成する空間の成立と消滅）を言うのである。ヒトで、fMRI を用いてでき事（events）の連続性と間歇性という脳機能を調べた坂井、彦坂らによれば、小脳の後葉半球部は運動学習や仮想運動思考（テニスのプレイをイメージするなど、virtual action or movement ）や発声言語などの他に、ランダムに切られた連続音に反応するというようなリズムの形成過程にも関わっているという [Sakai et al., 1999, 2000]。

長期抑圧（LTD）と学習機構

小脳には長期抑圧 (long term depression, LTD) と呼ばれる、情報の伝達効率が長期的に抑えられる現象が、平行線維とプルキンエ細胞間のシナプスに発見されているが、その研究は学習機構に関連して詳しく調べられている [Ito, 2001b；2002a]。

上に述べたように、苔状線維から入力を受けた顆粒細胞は平行線維と呼ばれる軸索線維を出してプルキンエ細胞の樹状突起にシナプス結合する。1 個のプルキンエ細胞には沢山の顆粒細胞から運動および感覚の信号を伝える１７？１８万本もの平行線維が接続している。この信号は大脳皮質からの情報を橋核で中継して苔状線維―顆粒細胞のルートを経由して伝えるものと、大脳皮質での処理過程を経ていない脊髄や脳幹にある他の「小脳前核」から直接、苔状線維―顆粒細胞を経由して入力される情報信号をともに含んでいる。

これとは将に対照的にプルキンエ細胞には下オリーブ核から数少ない（一般にプルキンエ細胞 1 個に対して 1 本といわれている）登上線維が多数のシナプスを形成して接続しており（上述参照）、その結合は強力でこの信号が入るとプルキンエ細胞は必ず発火する。平行線維と登上線維からの興奮信号が同時にプルキンエ細胞に入ってくるとき、多様な信号を送っていた平行線維のシナプスの伝達効率が持続的に抑えられてしまう。

この , LTD と呼ばれる現象は伊藤らによって発見されたもので、記憶・学習機能を実現させているものである。ピアノ練習、自転車乗りなどの技術訓練で、誤った運動指令信号が次第に補正されて学習が成立するという、いわゆる「手続き記憶あるいは非陳述記憶」の基盤となっている神経機構である。下オリーブ核－小脳投射を構成する登上線維系は、行為試行の際に生じた「誤差信号」を、抑制性の出力細胞であるプルキンエ細胞に伝えることによって誤った結果を出した原因の平行線維からの入力を、シナプスレベルでの長期抑制によって遮断 / 消去する。

小脳には運動性信号のみならず、視覚や聴覚など感覚性の信号も入力されることが知られているが、小脳における運動抑制および感覚性認知の両面にわたる機能の処理過程は、外界との関連において運動と感覚の事象を円滑に協調的にまとめ、活動をスムーズならしめるというタイミングの制御に関与している。つまり、知覚認知に基づく運動機能スイッチ・オンのタイミングのコントロール学習をしているということになる。

小脳の制御作用

これらの入力系を種々の出力系に変換する小脳は、いわば「各種の感覚性入力を素材として、学習を基礎にして自動的に計算された巧妙な運動を時間的・空間的に正しくしかも迅速に遂行させるために必要な情報および統合の司令部」で、工学的概念を借用していえば種々の制御作用（多変数制御、予測制御、学習制御）[伊藤、1980] を行なう器官（機関）である。この場合、小脳の持つ学習システムの機構は「いわゆる誤差信号を修正するという教師の役目 (teacher's role) を備えた」、下オリーブ核から起こり小脳内の唯一の抑制性出力ニューロンであるプルキンエ細胞に終わる、登上線維を介する信号によってコントロールされている [Ito, 1984]。

小脳の運動および思考モデル

以上の古典的制御系に上述の皮質マイクロゾーン（微小帯域）－小脳核 / 前庭核を包括する機能単位（小脳チップ）モデル－　をこれから作ろうとする雛形となる元の系と並列的につないで、かつその元の系と小脳チッ

プモデルとの間の出力の差を誤差信号として小脳チップに与えるように組み込む。誤差信号を与え続けると小脳チップの動特性が次第に元の系の動特性に近づいて古典的な制御系を適応制御系に変えることができる（伊藤、脳の不思議、図 18 を参照、1998, 岩波書店)。この原理で筋肉骨格系のモデルを小脳内に作り上げ、これに大脳皮質が働いて、小脳を通る内部フィードバックによって、外部フィードバックを置き換えてしまう。これができてしまうと、外部ループなしに小脳の内部モデルの働きだけで筋肉骨格系の動特性を忠実に再現させることができるようになる（「ダイナミクスモデル運動制御系」, forward model）[Ito, 1970、『脳の不思議』、; 図２０]。

その後、川人と五味によって、小脳の中に筋肉骨格系の動特性の逆数を現わす「逆ダイナミクスモデル運動制御系」(inverse model) というもう一つのモデル制御の方式が提案された [Kawato and Gomi, 1992a, 1992b、『脳の不思議』、図２１]。伊藤はこの一般向けの名著『脳の不思議、1998』の中で小脳に見られる上の２つの制御様式の差について次のように説明している。すなわち、「ダイナミクスモデル運動制御系は大脳運動野と小脳の中間部との間の関係と、逆ダイナミクスモデル運動制御系は運動前野と小脳外側部の関係と対応しており、運動練習の二つの段階に当てはまるものと思われる。前者の場合は意識的だが、目をつぶったまま、結果を見ないでも正確に思った通り運動できるようになり、後者では運動を繰り返し練習すると、無意識のままでも正確な運動ができるようになると想定できる。」

伊藤はこの運動に関するモデルを思考過程にも拡張、発展させて、モデル思考制御系の考えを提示した (Ito, 1993)。「思考モデルの順モデルを組み込んだ思考系」と「思考モデルの逆モデルを組み込んだ思考系」と呼ばれるもので、モデル作図の上では、「運動野」を「前頭前野」に、「筋肉骨格系の運動作用」を「後連合野の認知作用」に入れ替えた形になっている（図５６、 図５７）。この運動から思考へのステップは非常に大きいものがある。すなわち、「①前頭前野が後連合野内の思考モデルに働きかける。②この思考モデルの動特性をシミュレートするモデルを小脳内に作る。③前頭前野はこの小脳内思考モデルに働く。」この過程を繰り返し続けることにより、自動的思考が可能になり、思考モデルの逆モデルが小脳内にできれば、無意識に思考過程が進行する。この問題は後の項目の「小脳の思考モデル」で再び取り上げられる。

＄（図５６、 図５７）

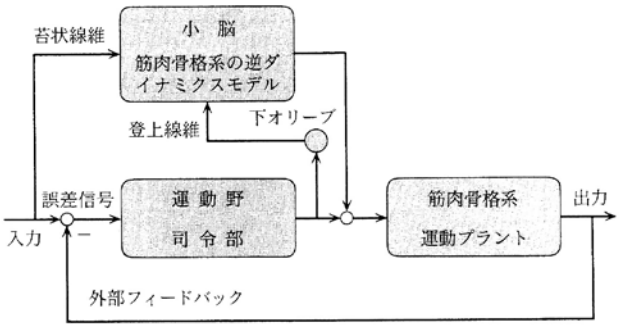
「体」で覚える記憶

このように考えてくると、小脳は単に自転車に乗るとか、スキーを滑るとかいう運動学習に関与している（後出、38 節、手続き記憶、参照）のみならず、感覚性の知覚認識に関する個々の要素（エレメント）を円滑（スムーズ）に結びつけるという「メンタルな機能」の協調的活動の遂行にも関与していると考えてよいだろう。この原始的（自動的／無意識的／不随意的）な協調、つまり、もともと下等動物レベルから認められる「個々の要素を関係づける」という協調は、ヒトの場合には以上の結果からしてより高いレベルの脊髄・小脳前葉・中脳を中心とした系列に包含されることになる。

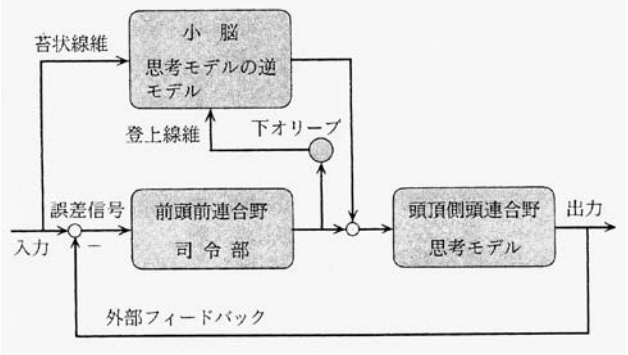
これに並行して、新奇な外的刺激条件を受容して識別的に、意図的に、随意的に行なわれる円滑な協調には、大脳新皮質・小脳後葉・間脳・新線条体で構成される発生学的にも新しい系が別途関与している。

小脳の機能は「古典的な」運動機能の制御だけではない

長い間、小脳はもっぱら運動機能の制御に関わるとして他の機能の発現については看過されてきた嫌いがあるが、小脳の自律機能／情動機能への関与は下等な動物からみられる。すなわち、これらの動物において既に小脳



（図５６）図９－３６－４：小脳に筋肉骨格系の逆ダイナミクスモデルを組み込んだ運動制御系 (伊藤、1998)



（図５７）図９－３６－５：小脳に思考モデルの逆モデルを組み込んだ思考系 (伊藤、1998)

[Haines, 1984] や扁桃体 [小野と西条、2002] から視床下部への投射の存在が証明されている。なお、霊長類、とくにヒトになると、大脳・小脳関連ループの中に、運動系に加えて思考機能系の問題を改めて設定する必要があろう。サルにおいて小脳外側核（歯状核）から視床を介して前頭葉に到達する神経路は佐々木らによって電気生理学的によく調べられている [Sasaki et al.,1979; Sasaki and Gemba, 1993]。さらに玄番らは、ヒトの発語との類似性を考慮に入れ、サルの小脳の皮質除去手術などを行ない、その際、発声に先行して大脳皮質内に出現または消失する活動電位 (field potential) を指標として、小脳からの興奮（皮質表層陰性 , s-N かつ深層陽性 , d-P の電位）を伝える遅い波が前頭葉内、とくにその左側の運動前野、補足運動野および弓状溝下枝後壁（ヒトのブローカ野に相当する領野という説がある）に出現わすることを観察した。またさらに、この結果を基に、その存在が予測される小脳・大脳投射の持つ役割を発声、発語との関わりのなかで考察した [Gemba et al., 1995, 1997]。

小脳の認知機能と情動機能

このような小脳をめぐる問題に関して思い起こせば、これは今から約２０年前に ライナーらが『小脳は mental skill に貢献しているか？』と題する論文を発表して以来のことになる [Leiner et al.,1986]。また、脳外科医はヒトの小脳半球の最外側部に障害が加わっても明らかな運動障害は生じないことに気づいていた。ライナー らはヒトおよび類人猿で小脳半球外側部および歯状核外側部がとくに発達しており、内側部とは組織学的にも、発生学的にも、組織化学的にも異なることを指摘した。この論文が衝いたのは、サルや類人猿では、小脳半球、とくにその外側部から歯状核、視床核を経由して前頭連合野に刺激が伝達されるという点である。なお、この著者らは歯状核外側部に障害をもつヒトの症例を検査して「行動を計画しそれを頭の中で、つまり観念として実行する」ような「観念的予測能力」が著しく低下していることを見い出した。

最近、MRI, PET, rBF（局所脳血流）などのハイテク機器を使用して言語やイメージを含む認知機構に、小脳半球、とくに後葉の外側部や歯状核が関与していることを示すデータが発表わされている [Kim et al.,1994; Fiez, 1996; Mathiak et al.,2002] 。

音楽関係の興味あるデータを取り上げてみると、最近の報告で、右手利きの若い（平均年齢２７歳）健常な音楽家（チェロ奏者３人、ピアノ奏者１人、ヴィオリン奏者２人）を対象に、手指を動かさずに頭の中だけで楽器が演奏され、そのときの脳内の活動が fMRI を用いて調べられた。そのとき、大脳皮質では、いずれも右側の上下の前頭回と上頭頂小葉で活動が亢進したが、同時に小脳で、両側の半球外側部（superior posterior fissure 部）にも、６人のうち４人に活動の上昇が認められたのである [Langheim et al.,2002]。

現在、小脳機能の認知や情動の側面についてもその役割が注目されている [Gao et al.,1996; Schmahmann and Sherman, 1998]。統合失調症者において前頭葉、側頭葉と共に小脳の虫部や半球部にも萎縮／容積の減少が MRI を用いた研究で [Volz et al.,2000 ; Ichimiya et al.,2001; Loeber et al., 2001; Okugawa et al., 2002]、また複雑課題を施行したとき、前頭葉、視床、小脳で健常人のようには血流量が増加しないことが PET の研究で [Andreasen et al., 1998] 観察された。アンドリーセンらはこれに注目し、「認知測定障害 (cognitive dysmetria)」あるいは「メンタル協同障害 (poor mental coordination)」という用語を提唱して小脳の精神機能への関与を喚起した。

また、ロンドン市モーズレー精神医学研究所のマレー（R. Murray）教授によれば、精神病者に小脳半球部皮質の活動の低下がしばしば認められるとのことである (私信)。近年、統合失調症者にしばしば認められる自閉的な能動性の障害や幻聴などの症状が、小脳の持つ認知や思考の内的モデル（internal model）化の障害と関連づけられて論じられるようになり [Ito, 2000, 2002a,b ; Imamizu et al., 2000; Blakemore et al.,2001] 、人間のこころの動きにまでこの考えが拡張されるようになった。今後の脳機能研究の進展によりヒトの小脳のメンタルな機能面がより一層明らかにされるであろう（後述、52 節「心の理論」参照）。

小脳にはさまざまな機能の興奮性入力がみられる

小脳には運動系以外の機能系から多種多様な興奮が入ってくる。また、サルで調べた限りでも、大脳皮質の広範な領域、とくに皮質連合領から橋核を介して小脳半球への強い入力（苔状線維投射）が存在する [Brodal,1978a, 1978b, 1979; Schmahmann and Pandya, 1997]。ヒトの脳ではこれらの連合野および橋核が著しく発達していることを考え合わせると、小脳半球、とくにその外側部が果している観念形成における役割、ひいては「自動的」思考形成過程への関与には看過できないものがある。次に、大脳における皮質・皮質間結合をみると、前頭連合野から頭頂および側頭連合野に直接の連

合投射が認められる。さらに詳しくみると、前頭葉から側頭連合野（とくに上側頭回）への連合線維は反対方向の側頭前頭連合線維と共に鈎状束を作ってかなりの量が存在するが、前頭葉から頭頂連合野への投射はサルで調べた限りでは量的に少ない [川村､1977]。ヒトになると、上縦束や皮質橋核路がさらに発達することから推量すると、ここで指摘された神経回路は著しく発達するものと思われる。

言うまでもなくヒトで前頭連合野は非常に大きくなり、頭頂連合野と共に領域内に、それぞれ、運動性および感覚性の（古典的）言語野が発達する。このことから考えて、臨床的には失語症をもたらす分析的・論理的・かつ熟慮に適した大脳新皮質内にみられる言語機能と、同じく臨床的には断綴性の言語障害、言語蹉跌 (skandierende Sprache) をもたらす自律的・反復的・かつリズミカルな要素を帯びた小脳内にみられる言語機能とが互いに関連して発達して、円滑な活動を発揮すると考えられる。

小脳の思考モデル（伊藤）

外言語にしろ内言語にしろその機能発現は即思考機能であると言う、上述の小脳に「精神」機能を想定したライナー ら (1986, 1993) の仮説は、その後伊藤によってより詳細な理論的考察が加えられることになった [Ito, 1993, 1997, 1998, 2001a, 2002b]。

伊藤は、一般的に言って大脳のフィードバック制御の働きを、工学の用語で言う､「前向き制御」に転換する「予測制御」の働きを小脳はもっていることを明らかにし、思考と運動の類似性に注目した。運動の場合には運動前野、補足運動野そして一次運動野を働かせて身体を動かすが、対して思考の場合には言語連合野を働かせて観念や概念を作り、思考過程を前向きに自動化する働きがあると推定した。そして様々な感覚様態をもった外界からの刺激が視床特殊核、一次知覚野を経て言語野が存在する頭頂・側頭連合野に集約（converge）されて、その｢イメージ｣は作られる。もしくは認知され､言語によって捉えられ、イメージ＝形象がもたらされることになる。伊藤はこれを「思考は脳内にあるモデル化された概念を動かすことである」という意味の心理学用語を用いて「思考モデル」と呼び、小脳において提示された運動制御系を大脳のモデル思考制御系に適用（対応）させて提案した。すなわち、大脳皮質内でブローカ野を含む前連合野が、認知思考の要素の貯蔵庫であるウェルニッケ野を含む後連合野内に存在する思考モデルに繰り返し働きかけた結果として、ヒトが大脳皮質内活動として思考、すなわちさまざまに考えることをくり返すうちに、小脳と大脳皮質との間を両方向性に密接に結ぶ結合 [Evarts and Thach, 1969; Allen and Tsukahara, 1974; Sasaki, 1979] を使って小脳内にそのシミュレートされた思考モデルが形成されてしまえば、何度か、既に経験された思考に関して、改めて大脳皮質内活動をすることなく自動的に思考が進むことになる（前述の項：｢小脳のモデル」を参照されたし)。ただし、伊藤自身が指摘するように、言語、概念、観念といった思考の制御対象が神経回路においてどのように表現されてイメージが浮かび上がってくるのかを今後調べる必要がある。

ヒトが何かを考える場合、そこには意識を集中して働かせて自意識にまで発展させ得る、論理的・構築的に行なわれる思考と、自動的、無意識的に行なわれるより単純な思考とがある。しかしいずれにせよ、こうした思考のための情報処理は進化的に最も新しい大脳新皮質で行なわれる。とはいえ小脳のほかに、① 皮質の働きを安定化させる大脳基底核、② 皮質の活動モードを調節する視床、③ 記憶、価値判断、動機づけに関与する辺縁系など、種々の機能を発揮する多くの下部構造がこれを支えているのである。ここで思考作用を脳内の「思考モデル」を操作する一種の行動と考えると、心に浮かぶ様々な要素的な思考過程を組織化して伝達するという、この思考という名の運動が、いわゆる一般の、身体的運動遂行の操作と同様に考えられることになる。

また、その際に、大脳辺縁系と結びつきの強い側頭連合野は思考内容についての喜怒哀楽を伴った価値評価に深く関与することになる。広義の反射、種々の知覚作用、習熟した手続き記憶、情動を伴う条件付けなどの諸要素を変数とする関数として扱うことによって、これらを脳の高次機能を種々の異なる種類の神経回路モジュールが作り出す動的な信号として捉えることができよう。認識や記憶や情動・意欲の行動をこれらモジュールの複雑な組み合わせとして理解することが、すなわち脳の高次システムを解明することにつながる一つの道であろう。

小脳・大脳関連ループ

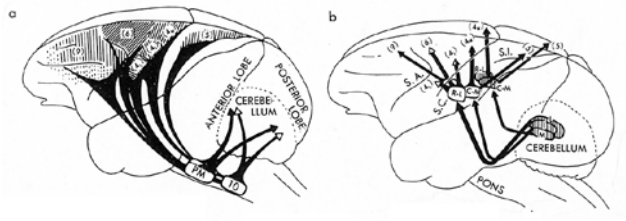
以上みてきたように、協調には仮にそれが言語であれ、思考であれ、行動であれ、意図的、随意的な協調と、自動的、不随意的な協調という２つのシステムがあり、これらを結びつけて統一する形態的な構成系として、小脳・大脳関連ループ系 (上述) の存在が重要なものとして注目される (図５８)。サルでの所見ではあるが、小脳半球の外側部は大脳皮質の運動野外側部、運動前野および前

頭前野との間に、他方、小脳の中間部は大脳皮質の全運動野（とくにその中間部）との間に相互結合が認められる [Sasaki,1979, 1986]。そして、この小脳・大脳関連ループは前脳の発達を待って成熟したものとなる。それだけに、この系、とくに小脳の外側部と大脳の前頭前野を結ぶ系は、とりわけてヒトの脳において特徴的かつ重要な系となるものである。なお、行動の基礎としての運動神経回路を原理的な側面からみれば、小脳、基底核、脳幹網様体、脊髄の間を多シナプス的に結びつけている「錐体外路系」を主とした運動系の上に幹線道路としての意識的、随意的運動を司る皮質脊髄路が新たに「錐体路系」として完成され、「錐体外路系」の上に「上部構造」として構築されると考えることができよう（図５９）。

＄(図５８)　＄（図５９）

「いつ」「何を」どのタイミングで行なうか

以下に、小脳における運動・感覚のタイミングとリズムの制御に関連して考察する。この研究は坂井、彦坂らにより fMRI を用いてヒトで行なわれた [Sakai et al.,1999, 1999a, 2000]。まず、タイミングの問題であるが、彼ら自身による総説 [坂井、2000；彦坂、2002] を参照して解説してみる。すなわち或る運動を行なうに際して、いつ (when)、何を (what) 行なうかを決める情報の処理は結論的に言えば、直列的ではなく並列的になされることを示唆する結果を得た。彼らは以下のような巧みな実験を行なった。すなわち、被験者が高い音を聞いたときには人差し指でボタンを押し、低い音を聞いたときには中指でそれぞれ異なるボタンを押すように指示する。提示される２種類の音の順序を変えたり、提示される音の時間間隔を変えて聞かせるという、さまざまな条件下で脳内における活動部位を観察した。その結果は、両者（what and when）ともに反対側大脳皮質の一次運動野と補足運動野および同側小脳前葉が同程度に活動がみられたが、その他に、前者（what）の条件下では両側性に前補足運動野が、後者（when）の条件下では両側性に小脳皮質後葉が、特異的に活動するというものであった。これらの前補足運動野および小脳皮質後葉で処理された情報は一次運動野などの実行系に送られる。



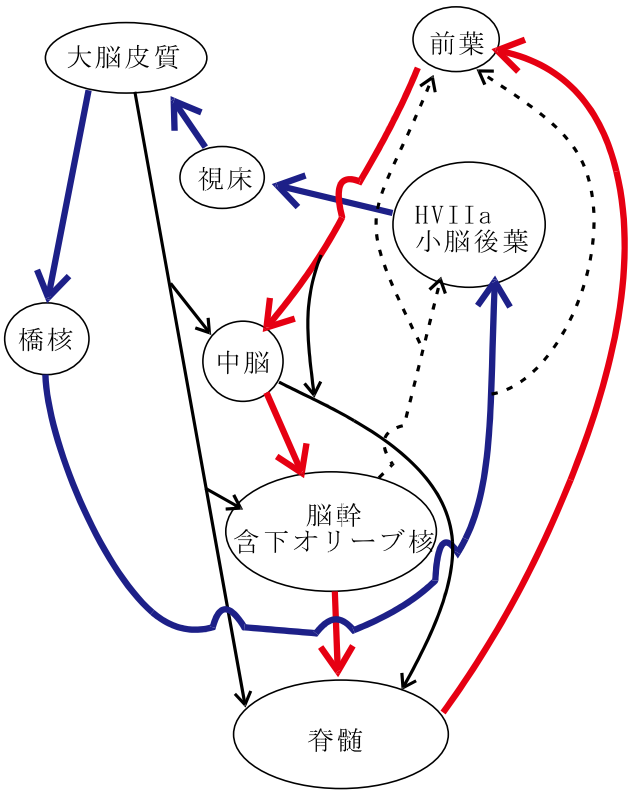
（図５８）図９－３６－６：大脳・小脳間ループ。　橋・下オリーブ核を介する大脳皮質→小脳皮質経路（左図）および視床核を介する小脳核→大脳皮質経路（右図）の模式図（佐々木、1986）

「メトリカル」なリズムと「ノンメトリカル」なリズム

小脳が備えている認知機能（注意、記憶、言語、感覚、刺激受容）に関係する、もう一方のリズムないし時間情報の問題について考察する。すなわち、坂井らはヒトに７つの音を異なる時間間隔で聞かせ、12 秒後にそのリズムをボタン押しによって再生させた。このようにしてリズムを短期に記憶し、保持しているときの脳内の活動状態を同じくヒトで f MRI を用いて研究した（Sakai et al.,1999a)。　彼らの研究結果から解釈すれば、リズムはインターバル比率に依存しており、その構成の比率により２通りのパタンがあるというが、基本的にはインターバル比率、つまり時間を一定比率の打点として捉えたものを人間はリズムと呼んで来たのであり、しかもこのリズムを感じ取って二様に区分して来たのである。だがともかく問題の実験によれば―

①左側の運動前野、頭頂葉と右側の小脳前葉外側部は 1: 2: 4 および 1: 2: 3 のリズムに反応し、

②右側の前頭前野、運動前野、頭頂葉および両側の小脳



（図５９）図９－３６－７：　歩行リズムの問題を考察するために作成された、最大限に簡略化された大脳・小脳間ループ。初期段階は細い黒線、ついで太い赤線で、次第に太い青線ついで細い破線の順序に主たる流れが変化する（川村、２００２）。

後葉半球部は 1: 2.5: 3.5 のリズムに反応する（ニューロン群を持つ）。

①②は共に音と音との、座標で言うならば横軸の関係に相当するもので、①はその場合の時間間隔が一定（metrical）であり、②は不定（non-metrical）である。ただし、①の一定比率の打点（時間）は、当然打たれるべき次の点に対する予測を前提させるから、その予測からして、打点、すなわち音そのものの存在を予測させることになる。これを言い換えれば、次の打点（音）の存在（非存在）の表象に関わる神経作用であると言うことになる。つまり、当然あるべきものがあるべき場所にあるかないかの判断ないし表象に関するものであり、この、あるべき場に表われるべき点（音）をくり返し予測（感知）して行なう認知作用を一種の、一定時間比率による認知作用の積み上げ式（階層的表象構造）と呼ぶことができる。

それに対して②の不定的、非一定比率の場合は、①にみられる一定の予測が立たないため、①に比してより多くの緊張を伴って、むしろ非時間的に、ということは予測認知活動が metrical（リズミカル）に予測点を打って自動的に進行して行くのとは大きく異なり、不測的な次の打点を待ち受け、打点される毎に、その点がこれに先立つ打点とどのような関係（比率）にあるかを計算し、割り出して行く認知活動になる。そのため、個々の打点に即して、その都度打点が、待ち構える認知によってキャッチされ、その都度異なる待ち時間が認知されて行くことになる。これは①に対して明らかに非階層的＝非積み上げ的であり、それだけに神経作用のエネルギーは大となり、緊張・興奮が伴う。

新奇なリズムと耳慣れたリズム（小脳後葉と小脳前葉）

これを一般的に解釈することはかなり難しいが、日常的には、①はわれわれの生活（環境）に自然な馴染みのある「整数倍」リズムであり、長期記憶として小脳前葉とそれに関連する領域（左側大脳皮質運動前野など）に蓄えられているのであろう。これに対して、②はそうした自然の秩序から外れる、日常にはない一瞬戸惑いを感じさせる「非整数倍」リズムである。この「新奇」なリズムは小脳後葉でキャッチされ、そのリズムが馴染んで自動化されると小脳内の活動が前葉に移行する（図６０）。この際に活動する大脳皮質領域は右側前頭・頭頂葉である [Sakai et al. 1999, 2000]。ここで新旧の事項の運動記憶ないし認知機構に関わる神経回路の問題として、先に考察した（9 節参照）ように、彦坂グループによって明らかにされた、手続き記憶学習の獲得と実行に関わる大脳皮質－基底核ループに属する複数の独立した系「パラレル・ニューラル・ネットワーク」[Hikosaka et al., 1999；坂井 , 2000] と結びつけることができよう。＄（図６０）

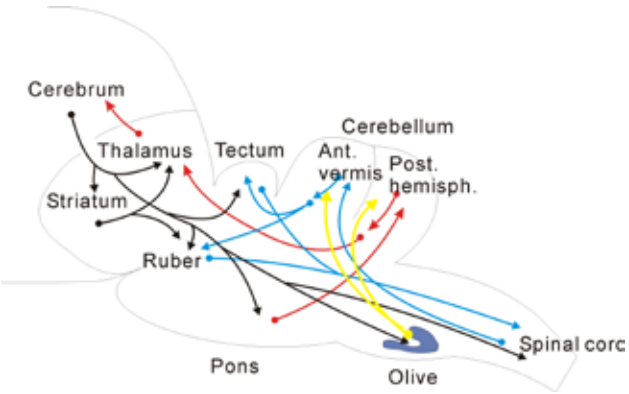
小脳系・線条体系・大脳皮質運動系

すなわち、一方は ①課題に慣れて習熟した段階に関わる、いわば運動実行系の、右側小脳前葉外側部―左側補足運動野などの運動関連皮質―大脳基底核中央（および後）部のループ（運動座標系）、他方は②運動のタイミングの調節などの新しい課題を獲得しようとする段階に関わる、両側小脳後葉半球部―右側側頭葉内側部などの連合皮質―大脳基底核前部のループ（視覚座標系）という２種類の機能系列に属する回路（ループ）が脳内機構として存在することになり、それらは小脳系、線条体系および前補足運動野や運動前野が関与する大脳皮質運動系という形態的に異なる３つの系が互いに関連づけられて考察され得るようになる（後述、３８節参照）。小脳の推尺作用として考えられてきたいわゆる空間的概念のみの捉え方は、筋肉群が連続的に空間・時間的に変化する運動のほかに、言語や思考の分野においても、時間の制御機構ないし小脳による時間的統御の機能としても新たな視点が当てられる段階に到達しているように思われる。

37 節　音楽と言葉におけるリズムの規則性

調和のとれたリズム（例；　１：２：４）

おそらくこの場合も、人間が感じ取っていた自然の法則や、その法則の中で生きる人間の生のリズムにおける、



（図６０）図９－３６－８：大脳・小脳・脳幹・脊髄の間に見られるであろう神経学習回路の推定図。　非常に大胆に推察すれば、学習の進行によって、神経回路の大きな流れは、おそらく、黒線→赤線→黒線→黄線→青線の順サイクルで変化する。

日常的表現を用いれば「自然らしさ」「わざとらしさ」と呼び得る２様態が科学のメスによって明確化されたのだと言ったらよいであろう。同時に、そこで興味深いのは、1: 2: 4、1: 2: 3 というリズムは古来より、たとえば古代ギリシアのピュタゴラス（派）によって、宇宙に内在する自然の秩序として捉えられて来た数秩序に一致するものと言えるものであり、人間が宇宙の法則として捉えて来たリズム（数比例）としての秩序が非調和なそれと明確に区分されて、処理される脳の部位が異なっているという点である。つまり、この実験の結果を人間の思考ないし宇宙観という哲学的側面にまで敷衍することが可能であるならば、ヒトは「自然らしさ」と「わざとらしさ」によって、自らが宇宙（の法則）に同化しつつ存在するものであることを告げていることになる。言うならば「自然らしさ」と「わざとらしさ」は相互的関連性をもつものではなく、二つの相異なる系を形成していることになる。一方は宇宙の法則であり、他方はこの法則に組み込まれ得ない非宇宙的系であると言うことになろう。

古来より、音楽ないしこれに象徴される芸術は、人間に対して、宇宙あるいは理想世界を形成する正しい秩序へと導く役割を課せられて来たが、そのときにたとえば音楽が、常に、上の実験の①のリズムおよびその数比例による響きを「正しい」法則として用いて来たのは、無意識的に、人間が①のリズムによって人間としての「正しさ」を表明できうると感じていたからであり、古典古代から中世、ルネサンスへと至る人間の思想の歴史の中で、常に、哲学や神学が論理的に、人間の正しさの証明として用いてきたのも①のリズムであった。従ってこの実験は、人間がいかに深く宇宙の法則に一体化しつつ存在しているかを証明するものの一例であると言ったらよいであろう。科学はすなわち人間の存在を、人間の在り方の如何なるものであるかを証明する。

非調和なリズム（例；　1：2.5：3.5）

ただし、1: 2: 4 のリズム系の方が認知に際しての刺激、逆に言えば脳内活動量は少なく、イレギュラーの方が活発であるわけで、レギュラー系のリズムの場合には宇宙に包み込まれた存在として異和感がなく、他方のイレギュラーのときに人間は宇宙の法則とのズレを意識し、宇宙の法則に帰ろうとすると考えられる。この意識作用を助長するために音楽家によって考え出され、実際の作品や演奏の中で利用されて来たのが不協和音や、先に述べた「ゆれ」や「ゆらぎ」の技法であった。ヒトの脳はレギュラーから外れたものによってかえってレギュラーなものを意識する働き、機能を備えていると思われる。このことが外界と自己、刺激と生命の維持、さらには拡大されて宇宙の法則と世界の秩序といった問題へと、人間の思考を導いていくのである。このような脳の機能が存在しなければ、人間は自己がどこに、どのように置かれ、一個の生命体としての自己をどのように導いていったらよいのかの判断を下すこともできなくなるであろう。これは脳機能に備わったヒトの倫理に関わる側面である。次に、こうしたリズムのレギュラー･イレギュラーに即して、「ゆらぎ」を軸とした脳活動の他の一面について検討し、癒しの問題にも照明を当ててみることにする。

脳と音楽のリズム

ここでこの問題を脳全体の働きの中に位置づけて考えてみることにしよう。その際に問題とすべきは以下のような実際上の現象である。脳とリズムないし空間＋時間構造の認知にとって、おそらく最も重要な鍵を握っているのは音楽であろう。音の響きは空間と時間の双方に深く関わっているからであり、かつ音声のような話しことばにみられる響きをも含んで、人間の聴覚系に最も鋭い形で関与するからである。その音楽の中でも、とくに大きな役割を果たすのは演奏であり、とりわけてピアノのような鍵盤楽器の演奏に、脳機能とリズムの関わりあいはもっとも鮮明に反映される。鍵盤楽器を弾くときには、左右の両手で異なるリズム、異なる音高、異なる意味＝表現が同時的に関わるからであり、鍵盤楽器の演奏時に脳の空間＋時間認知機能は考え得る限り最も活発な活動をみせると思われるからである。

左右の脳とリズム系

先に述べたように、左右脳におけるリズム系の優位性は規則的一定リズムと不規則リズムのそれに分けられ、左脳は規則的なものに、右脳は不規則的なものに関与する。これをいま、演奏の実際から捉え直した場合に、明らかに矛盾すると思われる事実が浮かび上がる。ピアノ等の鍵盤楽器では、まず物理的な条件として右手に高音域、左手に低音域が与えられており、多くの場合、左手が規則的なリズムを刻み、右手が情感に富んだ「ゆらぎ」のある、不規則なリズムを受け持つのが普通だからである。もしも、左右脳のリズムの聴き分け理論・実験が正しければ、鍵盤楽器の演奏やこの楽器のための作品は明らかに脳機能に逆行していることになり、また反対に、音楽の事実が正しいのであれば、リズムに関する左右脳機能の役割に関する実験は事実に反することになる。

この関係を説明するためには、いずれが正しい、という立場ではなく、双方が正しいことを突きとめるために、何かこれまでの視点の中に欠落しているものがあるのではないか、何か隠された関係がそこに介在しているのではないか、と考えることが重要であるように思われる。ではその隠された因子とは何なのか。多分に推測の域を出ないが、脳の左右機能に関して、「左脳は言語＝理性的、右脳は情動的」とする見方に代えて、先に指摘した背側と腹側系の問題や、扁桃体および視床下部の働き等の点を考慮して、脳は全体として情動と理論に関わっており、そのベースの上に左右の論理性と空間性に関する各々の優位性が発揮されるのだという点に注目してみる必要がある。この捉え方に関しては無論より詳しい説明が必要になるであろうが、しかしここでその全体像を詳論するのはいささか論が複雑になると思われるので、ここでは音楽（作品）の構造を説明し、脳機能との関連性は別記（本節、37 節、の後半部）することにしたい。

演奏者の右手と左手の役割

音楽史の上で鍵盤楽器のための作品が書かれるようになるのは主としてバロック時代、１７世紀からであるが、これには楽器そのものの発達史と同時に、人間の精神活動がルネサンス期に言語に集中したこととも関係があると思われる。鍵盤楽器のみならず、同じくバロック期に急速な発展をみたヴァイオリン等の弦楽器においても右手に、ということは左脳における認知・表現活動との結びつきを強くする演奏形態のなかで、「ゆらぎ」のある語りかけるような、音楽として響くことばの表現が求められたことも、それを裏づけるであろう。とくに弦楽器の演奏では、左手が情動に関わることが殆んどなく、情動・発話は右手に委ねられており、左手は音高の決定に、すなわち空間における音の位置づけに関与することは注目に値するであろう（今日の演奏法で一般に広く用いられる左手のビブラート＝「ゆらし」は、バロック演奏法では特別な場合にしか使われないことも要注意である）。これも後に改めて検討してみなければならない。

鍵盤楽器のために書かれた１７・１８世紀の作品は３つのタイプに分類することができる。① 左手が基本的・一定のリズムを刻み、右手がメロデイーないしゆらぐ発話を受け持つタイプ。これはメヌエットなどの舞曲の、それも簡素な形にまとめられた作品に典型的である。② 通奏低音。これは１７・１８世紀に特徴的なタイプで、他の時代には例外を除いて用いられていない。作曲家は、鍵盤楽器の左手のパートだけを楽譜に記し、演奏家が演奏の際に右手のパートないし響きを即興的に補いながら演奏していく。③ フーガのようなタイプ。これは、左右の両手が等しい働きをし、左手にもメロディー主題が与えられ、左右の両手が等しくゆらぐ発話の響きを作り出し、同時に両手ともリズムの刻みに関与する。従って、目下の視点から言えば、演奏に最も高度な判断、左右脳の最も鋭敏な活動が、いずれの半球の優位性をも示すことなく、両手に均等に伝えられることが必要になる。ヒトの脳の精神活動の最も高次な働きが映し出される楽曲のタイプがここにある。この３つのタイプの内、いま問題の説明のために便利な第二の、通奏低音についていま少し詳しく眺めてみることにする。

通奏低音と呼ばれるパートは、バロック音楽を特色づけるもので、ルネサンス時代の音楽研究のなかで創出され、ほぼ１８世紀末まで用いられた。アンサンブルの最下低音声部であるが、このパートは、或る楽曲を演奏している間、他のパートが休んでも休みなく演奏を続けるため「通奏」と名づけられている。普通、チェンバロを中心とた幾つかの楽器によって受け持たれるが、楽譜には左手の音だけが記され、右手はこの左手のバスに基づいて自由に即興的に演奏し、たとえば次の譜（図６１）が図６２のように演奏される。なお、この楽譜は、即興演奏に慣れていない初心者のために、右手のパートを書き出し、印刷したものであって、あくまでも代用品である（小音符で書かれた一番下の二段譜が代用品のパート）。

以上のような通奏低音のパートについて、①空間性との関連から、②美学的見地から検討してみる。上の最初の楽譜には小さく所々に数字が付されているが、この数字は和音を表わすものであり、通奏低音はこの数字の故に「数字付低音」とも呼ばれる。通奏低音という呼称は演奏上の特色を指すものであり、数字付低音は美学的、哲学的かつ空間的意味を帯びていると言えよう。つまり、数字付低音の数字は、楽譜に記されている音を基にした上部パートの諸音の音程、別の言葉で言えばこれらの音の空間上の関係を表わしているからである。従って、この時点でバスを通奏する左手は右脳に優位な空間的ゲシュタルトに関わっているといえるのである。この左手の働きはヴァイオリン等の弦楽器を奏する際に、左手が音高（響きの空間位置）を決定していくのと全く同一である。少なくとも西欧の近代音楽において左手（右脳）が空間的形象に関わったと言わねばなるまい。

一方、このとき右手はどのような働きをしているかと言えば、やはりバロック時代の演奏に典型的であったデイスクレシオンと呼ばれる奏法を用いて、音楽を「語る」べく演奏していく。しかも右手は、左手の数字ないし記

（図６１）図９－３７－１：テレマン「フルートと通奏低音のためのソナタ」より、初版譜 / 一番下が通奏低音のパート　Sonata prima

（図６２）図９－３７－２：現代譜（演奏譜）に書き直したもの　SONATE H-MOLL

譜音によって指示された和音の上部構成音を用いて演奏を、あるいは和声的に、あるいは華麗なメロデイーを語っていくのである。従って、右手は明らかに左脳に優位な言語性を担っていることになる。要約して、左手の基礎音、つまり全体の空間性を基礎づける音に支えられて、右手は一定の法則の下に、つまり左手が与える空間の中で、自由に語っていくことになるのである。ここまでは、左右の両手と左右脳の優位性の間に何の問題も見当たらない。しかし、それではこのような構造と左右脳の規則的・不規則的リズム認知とはどのように関係づけられるのかが次に問われねばならないが、ここには解明し難い疑問が存在する。

左右脳のリズム聴き分けの実験データからすれば、左手が刻む規則的なリズムは左脳に、右手の自由な語りは右脳に入力されて当然であるが、それでは脳内の錐体路神経交叉の構造に合致しない。これを解く、もしくは解答への推定を可能にする鍵のひとつは言語機能の左右両半球性に求められると思われる。いま、仮に、次のように考えてみる。

西洋音楽の構造は、概して低音部は規則的、レギュラーなリズムを受け持ち、高音部は自由な、しばしばイレギュラーなリズムを受け持つ。次の譜（図６３）はショパンのピアノ曲からの一例であるが、ここでは左手のバスは一定のリズムを刻むのに対して右手は微妙にゆれ動くリズムをとり、また↓のところでは大きな跳躍がみられる。この跳躍は、右手が跳躍に要する時間を表現効果として利用した高度なズレの芸術である。＄（図６３）

リズムにおける時間面と空間性

こうした音楽の構造に関して一般的にほぼ完全に見落とされているのは、リズムという時間の運動が、響きという空間を内包し、空間が時間によって作り出され秩序づけられていくという点である。誰しも、リズムを問題とするとき時間は問うても空間は問わないであろう。ここでは、この一般的認識を排して、リズムが時空を形成し決定することに注目する。この見地に立って言えるのは、たとえば通奏低音の場合、その規則的なリズムの時間面はおそらく脳梁を介して左脳で、その空間性は右脳で認知されるであろうという点である。もちろん、リズムないし或る打点による音の響きは、打つという時間性と、この打つ時間性が派生させる空間性とによって形成されるものであり、両者は截然と区分することができないものである点は注意されなければなるまい。しかも、通奏低音の場合には、そのような規則性とリズム性と併

（図６３）図９－３７－３：（改訂版、矢印記号を入れたものを用いてください）ショパン　ノクターン　Op 15-II

せてひとつの作品の全体を支えるというベーシックな機能が与えられていたわけであり、むしろこの全体性が右脳に入力され、その全体性を形成する時間と空間が各々の部位に分かれて認知されると考えるのが正しいであろう。

この事例は、バス＝空間＝規則性からのものであるが、いまひとつの不規則リズムについて考えるとき、人間が口にすることばのリズムの一見不規則と思われるものがなぜ左脳優位の言語野で処理されるかを併せ考えておく必要はあるであろう。ことばに備わったリズムと空間性の問題は、言語野研究においてもなお欠落しているように思われるが、たとえばベートーヴェンの交響曲第７番の第二楽章のように、リズムが一定に、かつ厳格に刻まれ響かせられるときに、はじめて表現の意図が達成されるように作曲されていながら、そうではない解釈のもとで演奏されている事例を、厳格なリズムで演奏されたものと比較した場合に、脳内の血流がどのように変化するか、その差異を測定することができるようになれば、こうした左右脳とリズムの関係に関する研究に貴重な示唆を与えてくれるであろう。

言語と音楽

ともかく、ことばには音節があり、音節には長短、高低の関係が認められる。ことばは時空の関連性の中で語られているわけである。この関連性は、われわれが日常に用いる言語では相対的であり、表現の意図･目的によって刻々にその長短・高低を変化させる。われわれは誰も、音節の長短の関係を意識しながら話はしない。だが、そのような無自覚的な話しことばの中にも音節の関連性、比例関係は存在しているのであり、この比例関係を基にことばを響かせるのが詩である。

古代ギリシアの悲劇の台詞において、この比例は厳格に１：２の関係をとくに保っていたのに対し、ルネサンス以降の近代語の中でこの関係は相対的なものに変えられたのである。おそらく、われわれは無意識的に、ことばを口にしながら、そのことばの中に一定の規則性を内在させ、それを基に、自由に話されていると思われることばのリズムを認知しているのである。一定の規則的なリズムの媒介なしに、自由な、もしくは相対的なことばの流れは形成され得ないからであり、そのような聴こえはしないにもかかわらず、ことばの深部で基礎構造を成しているリズムの時間と、併せてその空間性に支えられて、実際のことばの響きは作り出されると考えられる。

ヒトの脳の、今日では左右両半球にわたる言語活動が問題にされている研究の成果に照らしても、ことばは論理性を旨としながらも、その論理性を時間と空間の中でゲシュタルト化させることによってはじめてことばとして他者への伝達機能を発揮するものであるが故に、脳の種々の部位の総合的な活動によってようやくことばとして成立するのであろう。このように見たときに、ことばの音節に内在する規則性と話の自由性とがまさしくピアノ等の左手と右手に対応し、また通奏低音のようなものはヒトの脳の構造と働きをそのまま音楽として映し出していると言えるのである。が、このことをさらに専門的にかつ高度に捉えた場合、次のような新たな視点が浮かび上がることになる。

音楽やことばにおけるリズムの規則性は、とくに通奏低音のような場合、実際には必ずしも規則的に刻まれるわけではなく、本当に優れた演奏では、まず左手の刻みそのものが微妙なゆれ（デイスクレシオン）を持っている。従ってこの場合には左手のリズムは右脳で捉えられることになるとはいえ、レギュラー、イレギュラーのリズムの関係において、右脳で認知されるイレギュラーなものは左脳のレギュラーな、一定の数比例をとる時間構造との対応の中で、いわば一定比例をとる基準値によって測られ認定される時間差（ズレ）をもとにイレギュラーなものとして探知されると考えられるので、右脳に入力される「ゆらぎ」のある基礎リズムは、その「ゆらぎ」の故に左脳の共働を前提にしているはずである。演奏の表現レベルが低ければ、左手は規則的と言うよりも機械的なリズムをとるか全く規則に合致しない、出鱈目なリズムをとることになる。機械的なリズムは直接的に左脳に入るであろうから左脳の働きは弱く、それに対してゆれる基礎リズムの場合は、「ゆらぎ」の中から規則性が抽出されるため、左脳のレギュラーなものによってゆらぐリズムの位置が計測されるので、左右脳の活発な対話によってはじめて捉えられ認知されることになる。

言い換えれば、右脳の空間性、空間に関わる働きは、左脳の一定比例の法則性に基づけられてリズムなり何か或る物体なりの空間的・時間的位置づけができるはずであり、また左脳のレギュラーなものは、右脳のイレギュラー性との対応の中でレギュラー性を確認し得ることになる。

なお、左右脳のリズム認知はリズム＝時間を数比例として捉えて空間化し得るわけであり、リズム＝時間＝数比例における差異は、数比例＝空間＝音程（２音間の空間的差＝距離）の問題としても捉えられよう。もしこの判断が正しければ、和音ないしメロディーの高低においても、一定の数比例をとる響きは左脳で、不協和なものは右脳で捉えられることになるであろう。そうした場合

に、通奏低音が活用された１７？１８世紀の音楽に、音程にも一種の「ゆらぎ」が用いられたのは興味深い現象である。

音程のゆらぎ

音程のゆらぎは、本来１：２：３：４：５：６の数比例をとる和音の構成の基礎比例の内、幾つかの音程値、たとえば音階中に含まれる幾つかの２：３の音程値（音階音に直して「ド」と「ソ」）の内､一部は２:３のままに、他は２：３を幾分崩して±２：３のゆらぎのある２：３を用い、音楽の響きに陰影をつけるものである。
この技法を巧みに用いると、或る場合には透明な響きがし、別な場合には濁りが生じる。その結果、ゆらぐ２：３の故に、レギュラーな２：３の透明度が強調されて聴かれることになるのである。これを脳の機能の面から見るなら、先のゆらぐ基礎リズムの場合と同じく、ゆらぐ２：３の際に、本来左脳に入るべき２：３が右脳に入力され、かつそれ故に左脳の干渉を受けてゆらぐ２：３からレギュラーな２：３が抽出され、その結果として±２：３のゆらぎがまさしくゆらぎとして認識されることになると言えるであろう。こうした音程のゆらぎは鍵盤楽器の場合は調律の理論と、さらにこの調律論に象徴された宇宙観にみられ、弦楽器等の場合にはビブラートにみられる。ヴァイオリンを例に記すなら、左手が決定した音高を一定時間ひとつの音として延ばし響かせるとき、弦を押さえている左手の指を意識的に微妙にゆらすことによってビブラートは付けられる。現在の演奏法でどの音にもビブラートがかけられるのと異なって、時折、聴き手の心身をとくにゆらそうとするときに用いられた１７・１８世紀の特別な表現効果を旨としたビブラートは，左右脳のこうした働きを前提にしたときに、はじめてその意義を発揮するものであったと言えよう。

美しい響きをもつ不協和音

一方、ビブラートが演奏家によって即興的に用いられたのに対して、作曲家が意図的に作曲の際に響きのゲシュタルトの中に織り込んで表現＝聴き手に与える刺激をより効果的にしたのが不協和音の有効な利用である。不協和音は普通濁った響きと解されているようであるがそれは誤解であり、正しく不協和音が形成されるとき、それは美しい響きを持つ。不協和音というのは、或る音Ａと別な或る音Ｂとの振動比が一致しないものであり、ＡとＢの振動数、別な見方をすればＡとＢの倍音系列が各々に異なる系を構成するために、互いに反発し合って協和しない状態にある響きである。不協和音は濁りのある響きではなく、反発し合う２つの響きが同時に響かせられたものである。

このとき、脳はひとつの響きの中に２つの系を聴き分けるはずであり、その聴き分けには相当量の活動が必要とされるであろう。脳のそのときの緊張の故に、不協和音に続いて用いられる協和音を成しているレギュラーな数比例を認知するとき、その弛緩もまた強められることになる。ともかく､通奏低音という音楽表現上の構造（全体を支える空間的、時間的基礎）とデイスクレシオンによる右手の語る奏法と、また協和・不協和の意図的用法と、さらには通奏低音のゆらぐ基礎リズムと、種々の表現要素がいずれもレギュラーとイレギュラーの、また時間と空間の「ゆらぎ」を求めて案出され活用されたのがバロック音楽であったが、この音楽が最終の表現目的としたのが人間の心・魂の安らぎ、癒しであった。癒しはつまり脳の活性化の中でこそ達成できることを、ルネサンス／バロック時代の人々は深く見抜いていたのである。

左手の基礎リズムをゆらすためには最高度の演奏（表現技術）が必要とされるが、その最高度の難技巧は、ヒトの脳が素晴らしく精妙な働きをする可能性を秘めていることを実証するものであり、かつ同時に、ヒトの脳を刺激して最高度の働きをさせ、それによって人間の活性化を図るにはそれだけの高度な技が要求されることをも示すものである。その意味では、ヒトの脳の研究にみられる左脳への優位な傾向から、右脳への関心の優位性への転換も求められると言えるであろう。左手（右脳）の空間性、全体性、基礎作業によって認知され、表現されようとするものの論理的証明、いま左手（右脳）が捉えたものの説明を右手（左脳）が担うと言っても過言ではないからであり、人間の心身の活動が、認知にせよ表現にせよ、いずれも左手（右脳）に礎を置いていることを、音楽の表現形態は告げていると言ってよいであろう。

38節　運動の「ゲシュタルト」－運動・意欲・評価

総体としてみた運動発現のシステム

以下に大脳皮質から脊髄に至る運動下行系の幹線神経回路を示すと、図６４のようになり、視・聴覚系入力によって運動系に刺激が加わり、テンポとリズムがヒトの身体内に発現わする。発生学的にみると、線条体／間脳→脳幹→脊髄のルートが始めに歩行もしくはプリミテイ

ヴな踊りのような身体の活動として歩行機構と結びついた形で発生し、辺縁系・情動系により駆動され、感情移入された情動の昇華の源が見い出されることになる。実際、尾状核の視覚性記憶ニューロンは、運動の報酬スケジュールによって強く修飾されることが示されている [Kawagoe et al.,1998]。サルを用いたこの実験は、最初に視野の中心部を注視させておいて、光を視野の上、下、左、右にランダムに点灯させて眼球運動を起こさせ、この際の大脳基底核ニューロンの活動を記録するものである。この時、或る特定の方向に眼球を動かした（外眼筋を自己の意志により活動させた）時のみ甘いジュースという報酬が与えられる。

視空間認知に価値判断（動機）がリンクし、大脳基底核が関与して運動系へ変換される

この実験のパラダイムは、視覚系が空間を認知し、価値判断や動機とリンクさせて運動系に変換する時、どのように大脳基底核のニューロンが関与しているかを調べようとしたものである。この大脳基底核領域は、扁桃体から情動系の入力が、またさらに新奇物体に対する意欲的行為に関与する中脳の黒質からのドーパミン入力が、終止する場所である。

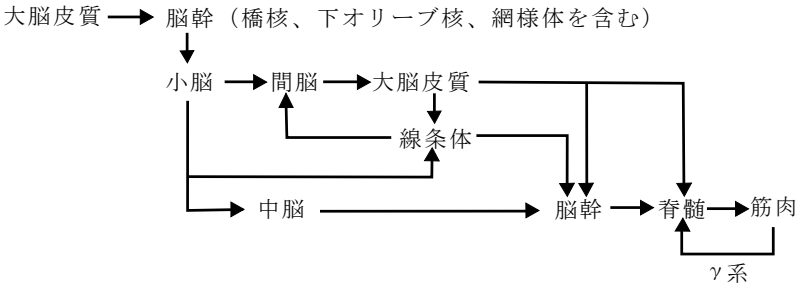
実験結果は以下のようである。すなわち、この領域のニューロンは、サルが、形象を自己にとって意味のある空間内に認知し、その方向に向かって意欲的に行動を開始したときに活動し、大脳基底核（実験として尾状核を用いた）は報酬を期待することによって動機づけを評価し、その結果眼球を動かすという運動系の決定に関与していることを示すものであった。

報酬期待時における前頭前野ニューロンと大脳基底核ニューロンの活動性の違い

これに関連して触れておきたいこととして、このように尾状核では、報酬が予知され、期待されたときに、ニューロンの活動性が全体として（底上げされた形で）上昇するが、これに対して、前頭前野外側部のニューロンは動機によって全体的に活動性が上昇するのではなく、条件／状況に応じて弁別性が高まるという結果が同じく彦坂グループ [Lauwereyns et al., 2002; Kobayashi et al., 2002] によって明らかにされている点である。

情動報酬系が大脳皮質言語系の段階にまで進む

ここでコメントしておくが、彦坂らはサルを用いた実験で、手足や体幹など全身的運動を調べているのではなく、眼球運動としての外眼筋の活動に代表させて、認識や動機づけによって行動がコントロール（制御）されるか否かを調べているのである。これは実験データを得る際のニューロンの背景の活動による乱れ、いわゆる「雑音」、を除去して観察する点で優れた手法である。既に、中脳ドーパミン系の大多数のニューロンは、報酬期待性の視覚性のみならず聴覚性の刺激に対しても相動性 (phasic) の発火（活動）を示すというデータが得られており、情動報酬の過程と接近行動の学習に関わっている



（図６４）図９－３８－１：皮質から脊髄への運動下行系神経回路－運動のゲシュタルト。

注]：　線条体・上丘・眼球運動などの関連事項について重要な諸点を記述しておく。上丘または視蓋は両生類や爬虫類など大脳新皮質が未発達の動物でとくに発達している。上丘は明瞭な層構造をなしており、網膜からの視覚入力を表層に受けるが、哺乳類においては大脳新皮質全領域から強力な投射をその全層に受ける（Konno, 1979）。大脳基底核（とくに黒質）(Hikosaka and Wurtz, 1985a,b)、小脳室頂核（Hirai et al., 1982）、三叉神経核 (Ogasawara and Kawamura, 1982)、脚橋被蓋核（ACh 作動性、Beninato and Spencer, 1986）からの入力も受けている。上丘は外界からの視覚、聴覚、体性感覚などの刺激源に対して眼球や頭部や胴体を向ける指向運動ないし定位行動、とくに指標を注視するための素早い眼球運動であるサッケード運動を制御するための中枢とされている。上丘は GABA 系の伝達物質を介して線条体－黒質系から強力な抑制性入力を受けており（Hikosaka and Wurtz, 1985a,b)、また上丘中間層に存在するニコチン型アセチルコリン受容体 (nAChR) の活性化によって、視覚（おそらく他種感覚も）信号を運動出力に変換する過程で反応時間を短縮させて注意行動の制御に関わっていると考えられる（伊佐、1999、参照)。眼球運動や覚醒・睡眠に関わる形態学的基礎研究として、視蓋網様体路（tectoreticular tract）の構成について発表（Kawamura et al., 1974）してから 30 年を経るが、この間、眼球運動（サッケード、滑動性追従眼球運動、視運動性眼球運動、前庭性眼球運動、輻輳性眼球運動）とくにサッケードの研究は著しく発展した。詳しくは加瀬（2000）による総説を参照されたい。

ことが知られている [Schultz et al.,1997; Schultz, 1998]。従って、線条体内に聴覚性記憶ニューロンも同様に存在し、情動に関わる系によって（リズムを持った運動としての、たとえば演奏を含む）行動が強く影響されると推察される。このように考えると、視覚系における形や色の表現に類似した脳内機構、すなわち言語の発音（語ること）の機構とは異なるニューロンのコントロールセンターなるものが、聴覚系における音の表現にも存在するように思われる。もっとも、このコントロールセンターを特定するためには、なんらかの響き（振動）が、何を根拠としたときには言語として、また別のときには言語とは異なるものとして発現わするかを明確にする必要があろう。果して人間は、どのような振動形態を言語と呼ぶのであろうか？

このように、大脳皮質とくに新皮質が発達した動物－哺乳類－の段階になると、その動物の脳髄には、リズム・テンポの表現に加えて、動と静、速と遅、長と短、さらに美と醜、純と不純、協和と不協和など対比的関係を持った質的に発展した表現方法が発現されるような機構が形成されてくると考えられる（上記のリズム認知における２つの異なる数比系を参照）。　最も上位にある大脳新皮質はこのプロセスの中で下位の線条体の運動を中心とした並列系（上述、8 節）ループの中でこの系をコントロールする役目を演じる。聴覚領、視覚領の持つ知覚、認知、認識記憶のシステムは上にみたように、言語系（第二信号系の確立）と結びついて、後連合野の内でより高い段階に昇り、それが背側路および腹側路を通り、前頭葉、とくに前頭前野に伝わり、そこで文脈の中に含蓄されている意味内容 (connotation) の変換ないし組み換えを起こして、運動系をゆり動かす。このレベルのリズム、テンポは美的な芸にも達し得るものでテンポ・ルバート (tempo rubato)、すなわち時間のゆらぎの世界も範疇に収め得るものとなる。

随意運動系と不随意運動系に認知・情動系を包括する「運動のゲシュタルト」

前に彦坂ら (1999) のまとめた図（9 節の図１９）を示したが、ここで強調して置きたいことは、感覚性言語野と結びついた受動的な認知と情動表現が、運動性言語野と関わりをもつ能動的な情動行為と結びついて、その結果この前頭前野内で「組み換え処理」がなされ、然る後に情報が前補足運動野に伝えられ、次いで意欲に関わる帯状回（帯状皮質運動野前部および後部）との結びつきをもった補足運動野 (supplementary motor area)、そして第一次運動領（4 野）へと興奮が入力され、錐体路系が作働される点である。

やや詳しくなるが、前補足運動野から補足運動野を介して第一次運動領への神経回路の間に間接的に腹側および背側運動前野 (ventral and dorsal premotor areas) が関与していることは留意すべき点である（丹治、1999）。なお、 4 野以外の広い範囲の皮質領域からも皮質下の運動系組織である線条体への投射が存在する（動物が高等になるにつれて運動系関連皮質以外のところからも投射されるようになる）。

この線条体運動系は他に小脳系、網様体系の「不随意運動系システム」をも含めて錐体外路系と呼ばれ、全体的な身体的なバランスを統御・調節的に司るところである。言葉を換えていえば、「運動系のゲシュタルト機構」といえよう。このように運動系は単に随意運動を司る錐体路系のみでなく、上述の高次運動野といわれる運動関連野皮質および大脳基底核を中心とする大脳皮質・線条体路、黒質・線条体路、腹側被蓋野・側坐核路、扁桃体遠心路（視床下部、側坐核、中隔核などへ線維を送る）と密接に関連しているので、芸術や思索に結びつく高次神経活動、すなわち、精神活動を研究する際にこの点を含めて総括的に考案することは重要な視点である。
付言すれば、ピアノやヴァイオリンを学習するタイプのいわゆる「体で覚える技術的性質をもった」記憶の習得は小脳・脳幹を中心になされており、その学習の習熟のプロセスは視床運動核 (VA, VL) を介して順次大脳皮質の運動関連皮質に伝えられるものである。複雑なことに VA/VL 核には小脳から小脳核を介して興奮性入力が、また大脳基底核から淡蒼球（内節）を介して抑制性入力が情報として集まって来る。しかし、この２つの入力系は互いに独立に処理されていると考えられ、両者が 1 つの視床ニューロンに収束することは稀である [Ilinsky and Kultas-Ilinsky, 1984]。

さらに視床―皮質投射にもこの独立性はおおよそ維持されており、主として、大脳基底核からの信号は VA/VL を介して補足運動野に、小脳からの信号は VPLo を介して運動野および VLm を介して運動前野に送られるとされてきた [Schell and Strick, 1984]。この見解は大筋で正しいが、細かいところではなお議論の余地が残されている。すなわち、その後のマテリらの研究によれば、従来の補足運動野はさらに F3(固有の補足運動野、SMA-proper) と F6(前補足運動野、pre-SMA) との独立した２つの領野に区別されるが、両領野ともに淡蒼球からも小脳からも入力を受けるという (Matelli et al., 1995)。

このように、小脳系と線条体（または大脳基底核）系とは独立性が強く、大脳皮質を介する回路で結びついて

いると考えられてきたが、２つの錐体外路運動系はシナプスを超えて直接的につながっていることが、最近のラット [Ichinohe et al., 2000] およびサル [Hoshi et al., 2005] を用いた研究で明らかにされた。とくに、Hoshi ら (2005) は赤毛ザルの基底核である、被殻と淡蒼球に狂犬病ウイルスを微量注入して、超シナプス性逆行性に標識される神経細胞を歯状核を主とするすべての小脳核に認めることにより、霊長類において小脳－基底核投射がかなりの強さで存在することを証明した。この発見の意義は大きく、「能動性」高次機能の新しい展開の基礎となるであろう画期的な仕事として注目される。

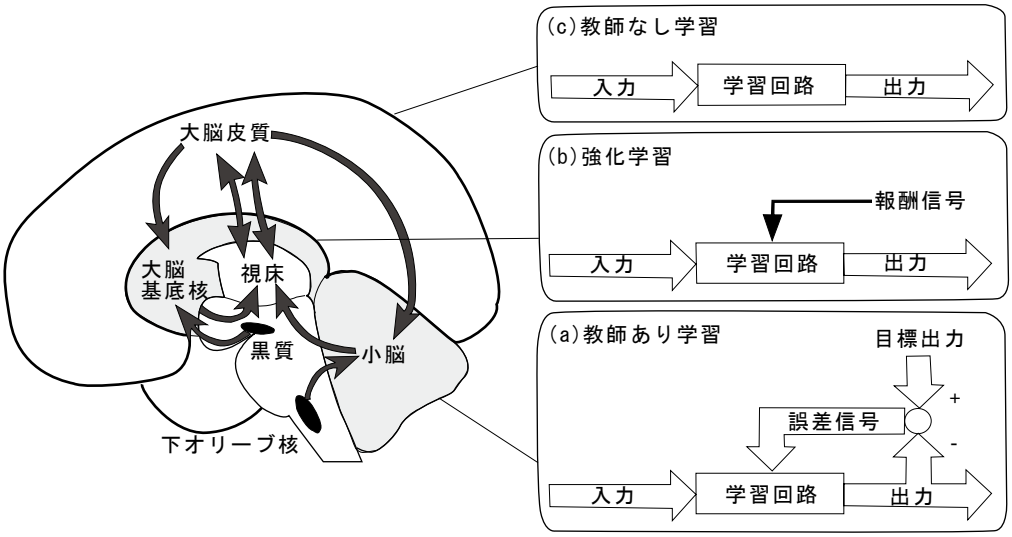
教師ありの学習と強化学習の補完作用

今後より詳細にされるべき点であるが、やや大胆に概説すれば、小脳系と大脳基底核系という運動に関する２つの神経回路は異なる機能を備えており、互いに補完しつつ円滑な運動を保証していると言えよう。すなわち両組織とも運動性入力の他に外界からすべての感覚様態の入力を受けているが、その処理方法はそれぞれ異なり、小脳系では入力と出力との関係がいわば関数的に与えられていて、それを下オリーブ核という教師の助けを借りて学習することにより、個々の運動の学習･制御に関わっている。他方、大脳基底核系では入力と出力との間に明らかな対応関係は与えられておらず、幾つかの運動を逐次的に順序よく組み合わせて、多重に表現されている脳内のネットワークを使って、出力が扁桃体回路によって評価され、黒質ドーパミン細胞によって強化されることによって学習が行なわれる（図６５）。

「教師ありの小脳系学習、supervised learning」では、実際の出力が入力に正しく対応していて、教師からの信号によって補正・修正されて、誤差がゼロになるように学習が行なわれるのに対して、「強化方式の大脳基底核系学習、reinforcement learning」では、実際に出してみた出力に対する評価を示す報酬信号（ドーパミン）が与えられ、これをなるべく大きくするよう探索するという学習形式をとっている。実際には、この相異なる２つの学習モジュールに対しては視床－大脳皮質系が等しく関与している。この大脳皮質系の学習形式は、知覚情報の抽出やワーキングメモリーで示されるように、シナプス前線維の伝える入力信号がシナプス後細胞を同時的に興奮させたとき、両ニューロン内の周波数の同期 (synchronization) を起こして、そのシナプスは強化される、すなわち伝達効率が高まる、という Hebb 型のシナプス可塑性を持つニューロンが、これまで見てきたような複雑かつダイナミックな皮質・皮質間結合の回路網を形成していることと深く関係している [Hebb, 1949]。このシナプス結合の可塑的変化によって、認知・行動機能の基礎である反応選択性が学習される（「教師なしの大脳皮質系学習、unsupervised learning」）。このように、小脳や基底核は大脳皮質とループ回路を形成することによって、運動制御だけでなく多様な認知機構に関わっている。さらに、このシナプスの伝達効率を持続的に変化させ、それを永続化させて、シナプス結合の強さを構造的に変化させることで知られる長期増強 (LTP) や長期抑圧 (LTD) は、可塑性とくに発達期のそれの基礎メカニズムであると考えられている (17 節、36 節、参照)。

多重表現仮説

現在、この大脳皮質・大脳基底核系の系列学習における学習・制御に関する研究は彦坂グループによって「多



（図６５）図９－３８－２：小脳（出力の誤差ベクトルによる教師ありの予測学習）と基底核（スカラー値の報酬信号による強化学習）と大脳皮質（入力信号の統計的構造による計画・実行のための教師なし学習）が関与する学習回路（銅谷ら、2000）

重表現仮説」という形で提案され、見事な実験的証拠が提出されている (Hikosaka et al., 1999; 中原ら , 2000a, 2000b ; 坂井 , 2000; 彦坂ら , 2003)。その骨子は、大脳皮質・基底核系の前頭前野ループと運動ループという複数のループが、それぞれ異なる座標系を使って系列を学習し、これらが同時に並行して逐次系列課題（注：参照）の遂行に寄与し、ドーパミン細胞による報酬系の信号がこの学習強化に使われるというものである（前述、9 節、36 節参照)。

以上見たように、これまで中枢神経系内における運動、認知、情動などの機能について、領域的に個々に調べられ、それらが互いに連絡しあって「複雑な神経回路網を形成する」と表現されてきた。最近はこれらの機能的に異なる神経回路が並列的かつ多重的に活動するとされ、脳内情報はこのような多数のニューロンの集団が動的に興奮し、それらが時空間パタンとして、またシステムとして、表現され処理されると説明されるようになった。そして、運動系、認知系、情動系などそれぞれの系が特性と仕組みを持っており、生理実験の所見結果を踏まえて神経回路網のモデルを用いて、脳を数理科学的に研究する分野が開拓され､注目されている。銅谷ら（Doya, 1999 ; 銅谷ら、2000）はこれまで明らかにされた大脳皮質、大脳基底核、小脳、視床の機能について、これら領域間の並列的なループ回路を解析し、脳の高次学習機能を統合的に捉えるべく仮説を提唱し、実証しようとしており、将来が期待される。

演奏家の脳がもつ自動修正機構

一方、鳥海、丸山らの最近のコンピュータ解析による研究（未発表）によれば、演奏家としてのトレーニングを積んだ人々の演奏においては、同じ 8 分音符で示された個々の記号の長さが､楽曲の中の位置的状況により（音程の変化、リズム、ハーモニーなど）メトロノーム時間のようにすべてが厳格に同じ長さの時間で演奏されるのではなく､少しずつ長短の差（ズレ）が生じる。コンピュータ演奏などにみられる機械的に時間の長短を正確に乱さずに音を出すという演奏法とは違った美しい演奏が人によってなされるときは､「完全な時間同一性（正確な時間比率）」ではなく、個性あるゆらぎの変異がみられる。しかもこの変異は、演奏者が可能な限り正確なリズムによる演奏を意志しているときにもみられるものであり、さらに聴き手に明確にその差異が認知されるほどのものでもない。いわば表面的には正確になされている演奏そのものの中に内在している、まことに微妙な差異でありながら、音楽ないしは人間の表現活動にとって決定的に重要なズレである。

なお、或る音の表出に少し長い時間を費やした時には、後続の同じ長さの音符でもこれを修正するかのように無意識が働いてその音の時間を少し短めに演奏するという結果が出ている。これは、演奏に際して脳が可塑性をもち､「ズレ」を修正するように働く意志が発動された結果と解釈される。または、ズレを自動的に調整する機構が脳に備わっているのかもしれない。この点に関しては左・右脳の相互干渉性の視点から捉えることも必要である（37 節　参照)。

注 1 ：逐次系列課題（2 x 5 課題、彦坂ら）について。「ハイパーセット」と呼ばれる 5 つの「セット」を一定の順番で並べた逐次系列が 1 つの実験単位となる。個々のセットでは、縦横 4 x 4 枠の 1 6 個のボタンのうち 2 つが点灯する。被験者は、それを見て、決まった順番でそのボタンを押す。その正しい順番を試行錯誤で見つけねばならない。 1 セット正答する毎に次のセットが点灯し、 5 セット（2 x 5=10 のボタン）正答するとハイパーセットが 1 試行成功となり報酬を得る。サルは 1 日に 10 － 20 個のハイパーセットを経験するが、その半数は毎日同じもので、半数は新しいものである。サル脳ではニューロン活動を記録することにより、ヒトでは fMRI を用いて調べられた。（中原ら , 2000b より)。

注 2 ：記憶について簡潔にまとめておくと、このように、① " 体で記憶する､「如何」に関する知識、knowing how [Ryle, 1949]、でそのやり方の知識を指して、内容を意識的に想起できない学習された技能の記憶で、手続き記憶 procedual memory" と言われる、小脳を主役とする（36 節参照)、脳幹･小脳･視床･線条体･(大脳）の系が関わるものと、② " 頭で記憶する､「何」に関する知識、knowing what [Ryle, 1949] , で事柄の知識を指して、イメージや言語として意識的に想起することが可能である、その内容を陳述できる記憶で、陳述記憶または宣言的記憶（declarative memory）" と言われる海馬体（海馬台、アンモン角、歯状回の総称）を軸として大脳皮質（・線条体）・間脳や脳幹の神経回路網が関わるものとの 2 種の記憶回路が調和して働いていると考えられている。

陳述記憶はさらに、a）個人の生活史の記憶である、エピソード記憶（episodic memory：when, where, who, what, how など時間的・空間的に定位されるもの）と　b）言語、概念、事実などに関する組織化された記憶である、意味記憶（semantic memory：教科書的・辞書的な一般的なもの）とに分けられている。エピソード記憶においては、大脳皮質後連合野→嗅周野・嗅内野―貫通線維束→海馬体（歯状回 → CA3 → CA1 →海馬台）→嗅内野→後連合野という回路内を感覚情報が伝達 / 処理されて、長期記憶として貯蔵される。他方、意味記憶においては、皮質連合野内の皮質間伝達が主たる役割を演じている。このように、それぞれの記憶の内容やその過程に関わる脳内基盤は同じではない。因みに、手続き記憶や陳述記憶という用語は人工知能の分野で生まれた概念であろう。

39 節　宇宙のリズムと天空の調和

異なる二つのリズム体系を相互に補完する人間の脳

既に述べたように（36 節）人間の脳は２つの時間ないしリズムの体系を左右脳で感知し分けるわけだが、しかしその場合に、この２つの体系が部分的に完全に左右に分離されているわけではないであろう。先の実験では２つの異なる体系の異なる部位による反応が追求されたわけであるが、両部位は相互補完的機能を備えていると思われる。おそらく、これも「ゆらぎ」に関して記述したように、その機能ないしはそれに類する機能もたとえば演奏における上記の「修正」に関与していると判断される。

もしもこのような機能が介在しなければ、一定の法則・比率から外れたものを法則に準拠されるべく修正の作業が成される必然性は存在しないからである。またその際に、サルによる go/no-go 実験にみられた「中間」的判断機能が関与しているはずであり、とくに背側・腹側系による広義の運動判断・抑制に基づいて演奏のリズムに関する修正も行なわれるといえよう（8 節 参照）。なお、このようなリズム、つまり時間の流れ方と人間の感性や判断の関連性について考えるとき、こうした問題の究極をなすものとして、下記の諸点 ①－⑤ は参考として考察するに値する。

「右」の優位性思考

① 地球上の各民族において、人間が自らの行動や社会生活、ひいては人間としての生き方そのものを律することになる道徳的・倫理的な側面において「正」と「悪」もしくは「誤」と判断する場合にどのような表象によってそれを捉えるか。日本語や欧米の言語が一様に示しているように、われわれは正しいものを「右」と捉える。とくに欧米の語では「右、right, recht」は法的な意味での「正しさ」や人間の「権利」等をも表わしている。これは人間の長い歴史の中で、人間の身体的・行動的・生の諸様態の現実そのものが徐々に論理化され概念化された結果であり、人間の心身の「右」優位性に根ざす思考がもたらしたものであると言えるのではないだろうか？

このような「右」は、先の時間秩序の二様態と脳内の神経交叉その他からして同時に「左」の脳を意味するであろう。左脳に重心のある「正」しさを、もしくは秩序あるものを求める判断が、身体的には「右」で表現・行動・具体化されるからである。人間は、イレギュラー性のものからレギュラーなものである法則性・秩序を求め、そちらに自己を移行させる機能を脳に備えているのであろうか。レギュラーなものが落ち着き、安定、安らぎなどをもたらすからであり、その安定、安らぎといったものが精神的に、と言うよりもはるかに身体的・肉体的に安心をもたらすからである。

宇宙の法則を映し出す詩のリズム ― 古代ギリシアからエリザベス朝まで

② このリズム上の修正の問題は、人間の言語にも関与する。たとえばギリシア悲劇のテキストは詩の形で書かれ、その詩は一定法則のリズム構造に従ってまとめられていた。このことは既に触れた（4 節参照）。詩の一定比率のリズムは宇宙の法則を映し出すと考えられ、とくにルネサンスの哲学者フィチーノによって説かれ、シェークスピアをはじめとするエリザベス朝の詩人たちによって実際の詩作品に活かされたように、詩、ことばのリズムによって人間を正しい法則へ、宇宙の秩序へと導くことが追求された。

同時に、こうした詩は単に書かれたものとして存在したわけではなく、それをどのように音として響かせるか、という朗読法が修辞学の一部分を成して学ばれ、実際に使用された。無論、リズムとこれを聴受する人間の側の種々の反応にはリズムに伴う響きの質が重要な役割を果たすので（同一のリズム・パタンでも響きの質的違いによって異なる印象を与える故に）、リズムと響きの両面から問題は捉えられなければならないにせよ、たとえば 2:1:1（??、メモ：音符 1 /4, 2 × 1/8）のリズムが荘重なイメージをもたらすように、朗読に際して、種々のリズム型を組み合わせ用いて、聴く人間のアフェクト（心の状態）を修辞的朗誦、話術によって巧みにコントロールし、宇宙の法則へと導くことが要求された。

リズムにおける「ゆらぎ」と「正しさ」

同様の方法は音楽にも用いられ、とくに演奏におけるリズムの在り方が追求されたが、そこで問題となったのが「ゆらぎ」とでも呼んだらよいであろう、一定比率にまつわる微妙なズレであった点が興味深い。この「ゆらぎ」の演奏法は、ズレによって聴く人間への刺激を高めようとするものであり、ズレによって、適度の刺激による快を与え、同時にそのズレの根底に流れる法則づけられた一定比率の時間に気づかせようとするものである。このことは、既に記した時間の比率の２様態と脳部位の左右性にみられるはずの相互補完性に関わるものである。が、その際に、次の点には慎重な判断が求められよう。その補完性によって「正しさ」が求められるとき、その「正

しさ」は確かに一定比率の時間性にあると言えるであろう（① 参照）。

しかし、場合によってそのような一定比率の時間性は単なる「正確さ」ではあっても、真の「正しさ」にはなり得ないし、むしろ人間が感じ取る美しさには「ゆらぎ」が大きく介在していると考えられる。あるいは、微妙なズレを内包している規則性にこそ「正しさ」は存在すると人間は感じているのであろうか。その際に、ズレは明らかに時間の系の２様態に関わると同時に、先のサル実験における go/no-go 判断の no-go に関わる。従って、抑制すなわち修正によって、ヒトの脳もより積極的に go（正しさ）を感知するのではないだろうか。

言語学的考察（秩序、尺度、ars、modus）

③ ヒトの脳の（活動）容積は限られているのに対して、処理しなければならない情報の量や種類は余りに多く多岐にわたっている。従ってひとつの部位、ひとつの神経網組織によって多種の情報が処理されていることが推定される。これまでにも折に触れて指摘したように、たとえば「言語と音」、「文学や音楽」といった異なるジャンルを形成しながらも、共に響きであることにおいて一致している。両者は PET などによる限り「文学」と「音楽」としては異なる部位の反応を示しながら、その核において一致する響きは共通の部位活動によって処理されていると思われる。いま仮に、このような脳の活動性ないし情報の処理性を、樹木の幹と枝葉の関係にみたてて、脳部位や神経網組織の多岐活動性（幾つかの部位の表層的活動とそれらの部位へと情報の投射を行なう中心点の存在）として捉えてみるならば、それは人間の精神活動の在り方そのものによく合致することになる。この観点からいま一度「右」と「正しさ」の関係を検討しておく。

言語学の研究では、幾つかの表面的には異なるように思える意味の単語を、語の構造面において統一している語根の面から調べることによって、それらの単語の形成過程やその形成過程をもたらした人間の思考過程に照明を当てようとすることがある。いま、そのような研究の一例を、フランスの言語学者バンヴェニストの『インド＝ヨーロッパ諸制度語彙集 II』（1988　年、言叢社）から取り出してみる。

まず「法」をめぐる問題として―「ラテン語の ars, artus, aritus に共通する語根は、全体を構成する各部分が互いに調和・順応するような《秩序》を意味し、インド＝ヨーロッパ語になんら法的な呼称をもたらしたりはしなかった」（93 頁）。「まず、共通インド＝ヨーロッパ社会にとってきわめて重要な《秩序》という概念を取り上げてみよう。それは [・・・・・・] インド＝ヨーロッパ諸族の法的世界と同時に宗教・道徳的世界にとっても基本的概念の一つとなっている。これこそ宇宙の秩序や星の運行、季節と暦の周期を、さらには人間と神々との、あるいは人間同士の関係を規制する《秩序》に他ならない。人間や世界に関連することで、こうした《秩序》の埒外にあるものはない。これはあらゆる社会の宗教・道徳的基盤を成している。つまり、この原理がなければすべてが混乱へと帰してしまう」（94 頁）。

一方、このような《秩序》によって諸事物の関係が規制されること、言い換えればヒトの脳の働きによってヒトの心身が秩序づけられ規制されること、つまり《秩序》によって計測され枠づけられる際の物指し、尺度はどのようなものであるのか。「歴史時代において語根 *med ‐ は実にさまざまな概念、すなわち《統治する》《考える》、《世話する》、《測る》などを指していた。だが、その本来の意味は [・・・・・・] 計測することではなく、節制すること（ラテン語の modus, modestus）の《尺度 (ムジュール)》として定義できるのだ。この節制は、病める関係のなかに秩序を約束ないし回復すること（ラテン語の modeor[治療する、世話する]、medicus[治療の、医者（の）])、宇宙の秩序を保証ないし確立させること [・・・・・・] さらに戦争のような最も重大な事態から、食事のような最も日常的なでき事に至るまで秩序を与え、これを維持することなどと深く関わる」（116 頁）。

「modestus は《尺度（節度）を備えた者、尺度（限度）を遵守する者》を、moderari は《(それから外れているものを）尺度に服従させる》ことを意味する」（121 頁）。つまり秩序なり尺度で測ることは節度＝ほどよい状態に保つことを意味することになるであろう。

数比例が作り出す宇宙の秩序

アフェクト論が成立する過程で、簡潔な整数比、たとえば１：２：３：４：５：６が重視されたが、それはこうした数比例が作り出す響きが天空の調和を映し出し、かつそれによって人間の心身をよく整えるからであった。われわれはバッハなどの音楽を聴いている最中に、無自覚的にであれ、宇宙の調和（秩序）に組み込まれているのである。と同時に、このような整数比に人間の存在のあり方の価値が求められるとき、くり返して記せば、たとえば音階的に言ってドとレの２音がぶつかって不協和な響きをつくる８：９よりオクターブの明澄な響きを作り出す１：２が優れて人間に節度を与えるというとき、それは取りも直さず左脳に人間の存在論の優位があることを告げていることになるのである。

これは、言語の歴史に表われた人間の思惟（の構造）と、ヒトの脳の思索が捉えた人間の存在と宇宙の関係、つまり宇宙観の歴史とが等しく表明している事実である。左脳のレギュラーなリズム、数比という響きの尺度と、言葉という論理的・概念的思惟の尺度とが左脳を優位に重なり合い合致して、そのような節度によって秩序づけられた在り方を正しいものとさせているのである。

音楽における modus（節度ある整った状態）

④ 音楽の実際に即してこのような尺度を眺めるならば、まず、最も自然な、最も基本的な在り方として、整数比の上部 (倍音) 構造が、鍵盤楽器上で言えば、右手によって響かせられるのが目にとまるであろう。左手は、宇宙に対応する音の響きの空間の基である低音（基音）を響かせ、右手が、中高音域にかけてよく整った数比例を響かせるのである。従って、この場合の響きの構造もまた、響きの空間を上記の右（right）がよく秩序づける形がとれることになる。

人間の四声（ソプラノ、アルト、テノール、バス）と宇宙の四元素（火、空気、水、土）―ルネサンス期の音楽

⑤ ルネサンス的アレゴリー（allegory）の概念の中で、ソプラノ、アルト、テノール、バスの人間の四つの声は宇宙を構成する四元素に対応すると考えられたため、ソプラノは火、アルトは空気、テノールは水、バスは大地にたとえられる。当然のことながら、四元素のうち火は空気よりも、空気は水よりも、また水は土よりも天空の神的なものに近い。次の譜例（図６６）はパレストリーナのミサの音楽の一部で、神秘的なキリストの受肉（ et incarnatus est ）を歌ったところである。ここでは、キリスト教的宇宙観・創造論における最も重要なモーメントであると言えるであろう、歴史的・時間的世界への神の介入＝カイロスの時、すなわち人間の世界に介入する神の働きが至純の美として、最もよく秩序づけられた数比例となって響いている（最下段、Et incarnatus est の部分がそれである）。＄（図６６）

脳全体の活動（知・情・意の統一）

以上の事柄は次のようにまとめられよう。すなわち、脳幹、辺縁系、後連合野、前頭前野を含む脳全体を働かせて、知情意の統一した精神内界を形成させるためには、無条件反射を基にした外界刺激を素材に本能的／生来性ともいうべき脳幹と原始皮質脳を形成させ、その上に、発達期に応じた適当な条件刺激を反復的に与えて、芸術的資質を備えるに足る脳髄を形成しなければならない。そのために要請される第一の条件刺激は改めるまでもなく胎教であり、会話や口ずさまれる歌などにおける母親の日常的表現活動の正しさや父親との落ち着いた会話、加えて、良い音楽に触れさせるなどの家庭環境であり、

（図６６）図９－３９：パレストリーナのミサの音楽の一部、キリストの受肉（et incarnatus est）

次には幼児期の生活環境である。

このような基礎条件が整えられた上で、さらに児童期からの聴受（音楽傾聴）を主とする教育と訓練が求められる。第二の条件刺激は、その上に成立する思春期までに大きく開花する内言語を活動させた思考（索）と響きを融合させることを目的とした訓練と習熟によって到達される高次の演奏技巧ないしは人間としてのなんらかの表現技法の習得であろう。

以上の記述を踏まえて、ここに新たな提案を試みる ― 今日の人間は考えることによって、わけてもことばによって考えることによって他の動物とは無論のこと、人間の歴史そのものの中でも初期の人間とは異なる「ホモ・サピエンス」として存在している。人間にとって、かつその人間を人間たらしめているヒトの脳にとって、ことばが決定的な意味を持つものであることはこれまでの論考の中でもくり返し指摘されてきた。

人間のことばはヒトの脳の言語野（を中心とした神経網）によって処理される。つまり、視聴覚を通じて入力されたことばという情報（の信号）がそこで受容され、また、脳内での種々の処理を経た後に、そこから再び外界に向かって発せられる。ヒトの脳の、ことばに関する働きには将に精妙なものがあり、それを簡単に記すことはできない。この記述の不可能性は、他方でことばそのものの定義の不可能性にも関わっている。理想を言えば、ことばとはどのようなものであるかが明晰に理解され、併せてヒトの脳の言語機能が明らかにされるのが望ましい。今日の言語の科学、脳の科学がそうした状況を視野に納めての研究を進めていることからすれば、理想的な形で脳とことばの関係が明らかにされる日も遠くはないであろう。とくに、２０世紀末から２１世紀に入っての、こうした領域での目ざましい研究の進展を目にするとき、その感は一層深められる。

ヒトの脳に関する研究においてのみならず、どのような研究においても介在する問題のひとつに、研究ないし研究者の考え方の飛躍がある。一方では、この飛躍は研究に新たな視野を開き、そこから将来に向かっての大きな研究の可能性がもたらされる。と同時に、その飛躍が大きければ大きいほど、それまでの研究の歴史とは質的に異なる新たな面がもたらされ、しばしばこの飛躍に対応できない人々の理解を不可能なものにさせる。自然科学であれ，人文科学であれ、これは優れた研究が常に人間の発展性・創造性と結びついている。また、研究というものは単純な一方向性をとって発展・前進していくものではなく、しばしば過去の研究、それも過去の研究者の思考（過程）と深い関係を持って、一見保守的な側面を強く見せながら、同時に新たな領域への視線と合わさって弁証法的に発展していくものである。優れた研究になればなるほど、こうした面が強くなる。もしもひとつの対象がひとつの存在理由を持って研究者の前に置かれるのだとすれば、研究者が問わねばならないのはこの存在理由であり、その存在理由や根拠の解明に向かう研究（者の思考）過程こそが次代の研究を支えるのである。多くの優れた研究が、単なる過去の研究の知識ではなく、その思考（過程）に深く根ざしていることは通常余り意識されないことではあれ、研究の本質的側面として改めて注意されて然るべき重要なポイントである。研究者は新しいものの探求ばかりでなく、いわば過去の探求にも充分な視線を注がねばならない。

新たな思考の飛躍

一方、研究の飛躍が明らかに意味している思考の飛躍が次の問題を提出する。人間は高度に符号化されたことばを用いて思考し、体験に基づいて事象を新たに概念化する。そうである以上、新たな思考は新たなことばを必要とする。一面において今日に至る人間の思考を捉えながら、他面において自らの新たな思考を新たなことばによって他者に伝えようとするとき、しばしば過去の思考を記したことばと必ずしも一致しないことば遣いをしなければならなくなる。たとえば一例をあげてみる。

ヒトの脳で言語を司るとされる言語野ないしそこに含まれる感覚性言語野といった名称がそれである。かつて、言語学的研究も今日ほどには進展しておらず、脳の機能についても同じくさして豊かな研究成果が存在しなかった時点で、ことばの論理的側面とは異なる感覚性の側面に関わると考えられたこの領域に対して、現在では異なる見方が要求されていると言えるであろう(10節､参照)。

では、一般的に広く用いられている感覚性言語野という名称に対して、新たな研究の成果からする見方に対してどのような対応をしたらよいのか。問題は必ずしも単純ではなかろう。ことばを定義することの困難さと、人文科学の分野にもまたがって、未規定のまま用いられる種々の用語・考え方がそこには存在しているからである。脳の一部位の名称でありながら、この場合は脳をめぐる多くの精神科学がそれに関わってくるからである。この点をさらに分析してみる。

いまひとつの用法として、ことばは何かメッセージを伝える文字記号の響きであるとしておく。つまりこの場

合、ことばは基本的には聴かれ、聴覚神経回路網によって響きが解析され、さらに高次神経機能によって響きの意味が捉えられ概念化され、ときに文字化されていく。たとえば「あした」という響き、ことばを耳にしたとき、ヒトの脳はこの「あした」をめぐって思考し、そこから「明日」ないし「朝」を解析し、その響きが伝えようとしたメッセージを了解する。また別のときに「昨日」という文字（記号）を目にして、ときにひとつの情報の中で文字通りに「今日」に対して時間的な意味での「昨日」を理解し、それとは異なる文脈の中で、これまでの広大な時間の流れを、それもときに深い感情の動きを伴う「昨日」として思い描く。「昨日のマーケット情報」と、シュテファン・ツヴァイクの小説『昨日の世界』にとっての「昨日」とでは同じ単語ながら「昨日」と言うことばの響きは本質的に異なる。このような事例を前にしたとき、視覚にせよ聴覚にせよ、人間の感覚器官によって捉えられる「ことば」のどこが感覚的であり、どこが理論的、ないし概念的であるかについての明確な線を引くのは不可能である。今日の著しい進展を見せている脳の科学、脳の機能の解析学の成果に立つとき、その線分の不可能性はいや増すと言わねばならないであろう。１９世紀、いや２０世紀後半に至るまでの、ヒトに関する多くの臨床データに基づいて、いやその研究レベルをはるかに脱して、脳の全体的構造とその働きがどのような部位、どのような神経網の働きによって入力された刺激（情報）の意味を捉え、かつ受動面から転じて、能動的にことばを発し行動を起こさせるかの機序についての研究が今日行なわれている。

このような状況の中で、感覚性言語野といった、少なくとも「感覚」の働きとの関連性を意識させる用語は適切ではないと思われる。研究が進み、何かの機能の解析が明晰になればなるほど、とくに自然科学においては、それを表わす用語を新たに必要とする。言語に関しても、現在の画像解析の研究結果は、「感覚性」言語野、「運動性」言語野、「補足（運動）」言語野といった従来の「古典的」言語野の他にも、言語機能に関係すると考えられる複数の領域が存在することを明示している。それらの領域は第一次言語野、第二次言語野、第三次言語野、あるいは時に併用されることのある、「後」言語野、「前」言語野、「上」言語野 [Penfield and Roberts, 1959] といった「無機的」名称をとるのが望ましく、ベターであると言ったらよいであろう。それによって、ヒトの脳に入力された刺激がどのような手順で解析されていくのかがより簡潔に示され得るであろうからである。

ヒトの脳に関する科学の今後のより大きな飛躍を考慮するとき、観察から実験へ、データの集積から集積されたデータに基づく、新たな研究のための礎石の提示へ、ひとつの部位から全体へ、ひとつの部位が受け持つ入力刺激の種類別考察から、ひとつの入力刺激を処理する全体的機能の解析へと脳の科学がその歩を進めている現在、これまでの、経験的に付けられた名称や、非常に多くの細分化された部位の固有名詞は研究者の思考の流れを阻害する可能性がある点は意識されて然るべきであろう。ヒトの脳は、複雑な文章表現を簡略化し、情報の伝達がよりスムーズに、より的確に行なわれるべく代名詞、関係詞といったものを考案してきたのである。勿論、これまでに使われてきた歴史的内容を持った用語を使用することには、少なからざる意義があり、これらの用語を変更するのは楽な仕事ではない。しかし、人間の認知科学や言語神経機構の研究の発展のために、これを再検討すべきときではなかろうか？

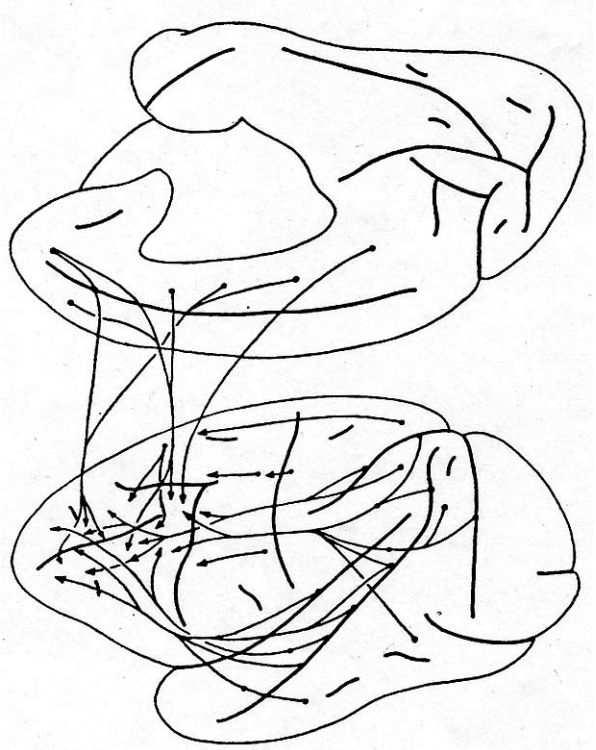
第１０章　　高次神経活動と精神医学

第 10 章　　耳を切った自画像 , 1889、(Vincent van Gogh, 1853-1890)、Portrait of the artist with severed ear, January 1889,
画家というものはアトリエに居る限りでは絵のことも世間のことも不案内である。もっと眼を外に向けて暮らすこと、そのようにして絵を描くことを学ばねばならない。

40 節　後連合野（認知機能）から前連合野（能動性機能）へ

前頭前野への求心路（図６７）

この問題をサルの実験成績からみてみると（川村、1977,1985）、前頭前野は隣接する６野からのほか、広範囲の後連合野から連合線維を受ける。しかし、運動領やいわゆる第一感覚野（S1，A1，V1）から直接線維を受けない。すなわち、頭頂連合野に属する７野からは弓状溝とその付近の６野，８野に多く投射するが、一部主溝の背側部（9 野）および腹側部（10 野）にも線維を送る。また、視覚系の後頭連合野からは弓状溝の前方域にある前頭眼野（8 野）に投射があるが、それより前方部の 9 野，10 野にはほとんど投射が認められない。一方、側頭連合野からの投射についてみると、聴覚系の上側頭回（22 野）から主溝腹側部（10 野）への強い投射があり注目されるが、そのほかにも、上側頭回から主溝背側部（9 野）へ、中および下側頭回（21 野，20 野）から主溝腹側部へ投射が認められる。このように後連合野から前頭前野への皮質間求心性投射には、かなり構成のはっきりした系が存在していることがわかる。一般に前頭前野への皮質求心路には主溝腹側部に集中性が強いという特徴が認められる。一方、前頭葉極（12 野）は前頭前野内の 9 野、10 野からの線維を受けるが、側頭葉極からの線維もかなり存在する。最後に帯状回からの投射であるが、主溝およびその背側域への強い投射が帯状回全域から認められる。8 野は主として帯状回の後部（23 野）からの線維を受ける。側頭葉極から強い投射を受ける主溝の腹側域への帯状回からの投射が比較的に弱いものであることは、主溝を境にその背、腹域間に皮質間結合上明らかな差異が存在することを示すものであり興味深い。

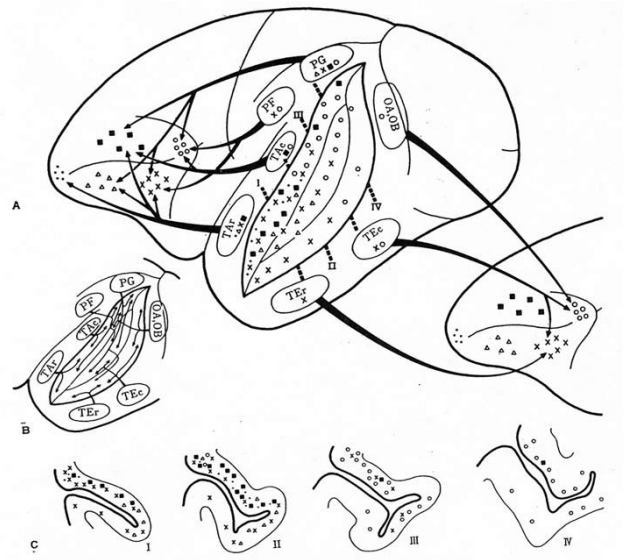


（図６７）図１０－４０－１：サル前頭前野への求心路（川村、１９８５）

STS 域から前頭前野への投射

＄（図６８）

HRP 法を用いて後連合野から前頭葉（とくに前頭前野）への皮質間投射について詳しく調べてみると、連合線維の起始細胞は脳回表面にあるばかりでなく、脳溝を



（図６８）図１０－４０－２：サルの後連合野から前頭前野への連合線維投射（情報処理の経路）の部位局在性を示す模式図。STS 溝は展開され、下段（C）にその 4 つのレベル（I, II, III, IV）の断面が示されている。起始領域と終止領域が同じマークで示されている（Kawamura and Naito, 1984）。

かこむ皮質部分にも多数存在し、とくに STS 域に多いことが判明した (Kawamura and Naito, 1984)。そして、この投射系には明らかに部位局在の存在が認められる（図６８）。すなわち、STS 域の尾側半からは８野へ、吻側半背側部からは９野へ、吻側半腹側部からは 10 野へと比較的に強い投射がみられる。さらに注目したい点は、後連合野内の種々の部位で前連合野に直接投射する領域は、STS 域を介して、つまり、そこで一旦ニューロンを変えて二次的に投射する領域と一致することである。この点は、研究がさらに進んだ段階で誤りの少ない考察をしなければならないと考えている。後連合野から前連合野への投射系に部位局在が存在することの意味づけは、現段階では詳細なデータが集積されていないためむずかしいが、今後重要な問題として議論されるようになると思われる。

視覚、聴覚、体性感覚の３つの感覚系の皮質領域を第一連合野 (V1,A1,S1)、第二連合野 (V2,A2,S2)、第三連合野 (V3,A3,S3) に区分して――――着想は良いとしても、形態学的立場からみても多分に便宜的な所があるが――、前頭葉への皮質投射をサルで調べたチャーヴィスとパンジャ [Charvis and Pandya、1976] の研究については先に考察した（前述、第４章：後連合野内の階層性）。以上、形態学的実験による証拠を詳述してきたが、このように、後連合野から前頭前野への投射は広範囲で、且つかなり強い部位局在が認められるが、逆方向の前頭前野から後連合野への投射をみると、その起始域は主溝および弓状溝の周囲皮質や主溝背側部位（９野）および前頭眼野（８野）の一部などに比較的限局しており、且つ、その投射も比較的に弱い [伴と川村、1984]。この問題については後述する。（41 節）

外界から入る種々の感覚情報が後連合野で分析される

なんらかの情報なり刺激なりが外部からもたらされた場合、視覚系、聴覚系、体性感覚系の興奮は、皮質下の各々独立した経路を経て視床内のそれぞれの特殊（知覚）核まで上行し、ここでシナプスを作り、大脳皮質内の第一視覚野 (V1), 第一聴覚野 (A1)、第一体性感覚 (S1) の皮質第４層（内顆粒層）ニューロンに伝達される。この皮質域は表層から深層に垂直方向に配列された同種の性質のニューロンが集合して柱状構造をもっている。ここで各感覚様態の細かい分析がなされ、順次段階的に複雑な要素も解析、統合されて、以前に経験された記憶の蓄積（バッファー）と照合される。

これらの過程が知覚、認知、認識をもたらす脳の機能で、後連合野内で行なわれる。サルの段階になるとかなり後連合野は発達してくる。視覚、聴覚および体性知覚の各領域に異なる機能をもった神経細胞群が同定され、また構造（皮質構築）的にも区別され、さらに細かい領域―亜域に区分されることが分かる。それらを連絡する神経回路網の研究も機能解析と並んで成果を上げている。これらの３種の相異なる感覚様態の皮質連合野が重複、隣接する領域に「言語原型皮質」が発達し（サル）、ヒトの場合、cross-modal の機能を早くも原始社会において労働とコミュニケーション（情報伝達）、つまりヒトとヒトとの交わりのなかで不可避的に発揮させつつ、感覚性言語野が発達してくる（川村、1977, 1988、後述、47 節）。

最も原始的な皮膚や粘膜の感覚から、身体の空間位置関係までを知覚、認知するという体性感覚系の研究も進展している。頭頂連合野がその知覚、認知の場である。このいわば「低次」の感覚は原生動物や魚などでは全身にわたるダイナミックな皮膚・粘膜（時に嗅い、味も入れる）での反応になる。ヒトにおいても祭りの太鼓や笛の響きにあたかも皮膚組織が、かつまた内臓上皮の粘膜までも共鳴するという感覚を味わう瞬間がある。

視・聴覚空間の認知―背側経路

一方、空間認知を視覚性および聴覚性の背側経路との関係で言えば､脳内における視（覚）空間 (Gesichtsraum)、聴（覚）空間 (Geh?rsraum) の形成と言うことになろう。視覚性および聴覚性の認知、認識がこれと結びついて高まって行く時、すなわち脳内に形成された視・聴覚空間、言い換えれば視・聴覚神経系を通じて入力された情報の意味について検討する段階、受動的認知の状態から能動的認知の状態への移行に伴って、低次元の知覚・認識から具象的、実体的さらには統一的、抽象的認識にまで認知の次元それ自体が質的に発展を遂げた状態になっているはずである。これは概念を形成することができるまでに発展（達）した脳をもった動物すなわち、ヒトにおいてのみ可能である。

この段階の脳とは、次の条件をみたす大脳新皮質が構造的かつ機能的に、また神経回路形成を含めて構築されているということである。すなわち、後連合野内で感知された、いわば信号に内在する実体（上記の「意味」）を抽出し、これをより高次の信号として認識することのできる、感覚性言語野と呼ばれる後言語野が形成され、併せて各種の感覚様態の高次機能と密接に結びついた神経回路網が完成されているということである。このステップまではいわば脳の受動的な働きを中心とした機能

側面である。

背側経路と腹側経路（広義）

動物は外界から得た感覚刺激（の情報）をその動物の進化・発達段階に応じた形で認知し、上記の背側経路と腹側経路を介して、前頭葉にこの刺激を伝達し、その能動的機能を発揮させて、送られてきた刺激を検討すべく脳機能のより高次な働きを活発にする。またさらに、この段階で、背側経路は大脳辺縁系の一部であり、中古皮質に属し意欲に関係する帯状回と、腹側経路も大脳辺縁系の一部であり、情動、記憶に関係する扁桃体や海馬旁回と、相互に情報を交換するべく機能的な結びつきが形成される。

従って、この次元において既に単なる情報の機械的な写像変換ではない、「知」と「情」および一部「意」の原始的・第一段階的な統合がなされていると考えられる。次に、この後連合野から前連合野に情報を伝える２つのルートをより詳細に考察すると、背側経路では前頭葉の背側運動前野に情報を担った興奮が伝達され、そこで内側面皮質の帯状回前部にある意欲形成関連ニューロンとの相互作用が行なわれることが明らかになる。なお、この帯状回前方域のすぐ背側は６野（補足運動野）にあたる所でペンフィールドのグループが「上言語野」と命名した領野を含んでいる [Penfield and Roberts, 1959]。他方、腹側経路は能動運動系に写像変換的に興奮を伝える背側経路とは異なり、どちらかというとパトスとロゴス、「情」と「知」を融合させる機能を顕著にし、高次機能の発現を促す素材、すなわち入力された情報を粗な形で、以後のより高次な神経活動による分析を可能にする形で包含しているように思われる。

情動が結びつく腹側経路

実際、この腹側経路はサルにおいて、さらにヒトにおいて、一段と発達した鈎状束を形成しており、その発達度は背側経路に比較して格段に高い。サルに関する所見ではあれ、腹側経路が運動関連野に直接に終止することなく、前頭連合野内の主溝よりも腹側部位、より詳しくは腹外側前頭領域 (ventro-lateral region) に集中して終わっていることは注目に値する。なぜなら、この領域は進化の面からみてヒトの 46 野、45 野など運動性言語野である前言語野に発展する領域とも考えられ、その機能面からして前頭前野、補足運動野、帯状運動野など「高次運動野」といわれる領野にその素材を送りこんでいるのである。つまり、後連合野から送られる「情」の面からも分析された情報、ということはすなわち、ヒトの場合にはこの段階での情報分析は「言語化」されているが故に、言語的に処理された情報がここに一時貯えられ、しかもこの情報が改めて、次の次元として捉え得る言語分析という「能動的」情報処理をうけている。しかも加えて、扁桃体内の発生学的に新しい領域である外側核群との相互神経連絡をも介して、当該の外界（環境）からの刺激を認識し、ここでもその意味を、あるいはその情報が自己の生体にとってどの程度の価値を持つかを判断し、前後の情報、もしくは、いま捉えられた刺激を一定の情報量 / 文脈の中で捉えることによってその位置づけを行ない (connotational meaning)、外界からの粗な刺激を抽象し、異なる形態、もしくはさらに上位の、refine された状態へと変換 (convert) させ、こうして新たな形状の刺激に組み変えることによって、さらにこれを次の認識段階に関わる部分が概念化し、抽象化させることを可能にする思考素材として前記の「高次運動野」に送り込むのである。高次運動野で運動開始前の準備、指令、連鎖や順序の決定などが企画され、最終的に一次運動領（4 野）に興奮が送られるて、この領域の運動ニューロンが興奮させられ、その結果、随意的または意識的な運動がスタートすることになるのである。

この過程で、霊長類とくにヒトの脳において、外界からの情報を最も多く受けつつ、「うまく、よく生きていく」[時実、1969] ための判断を下し、適応行動・創造行動に関与する皮質連合系から起こり、「たくましく生きていこう」[時実、1969] という意欲的機能をもち、本能行動・情動行動を動かす大脳辺縁系に終わる多くの線維が存在するという形態的事実は注目されるべき重要な点である。しかもネコ、サル、ヒトと進化する程に、おそらくこの制御性の投射は強力になっていると判断される。このような前頭葉機能を一括して言えば、それは能動性の機能の統御にあると言うことになるであろうし、またそれ故にこそ一次運動野の傷害は運動麻痺として、高次運動野の傷害は固縮や振戦も含めて運動調節の障害として、下前頭回後部の傷害は運動性失語症として、さらに、おそらく高次運動野をも含む前頭前野の傷害は統合失調症者にみられる「ひきこもり」や、ひいては広汎性発達障害（pervasive developmental disorders, PDD）に位置づけられる自閉性障害 (autistic disorder) などの能動性障害として発現わすることになるのであろう。

41 節　前連合野から後連合野へ－連想（連続的想起）・内的響き・言語化

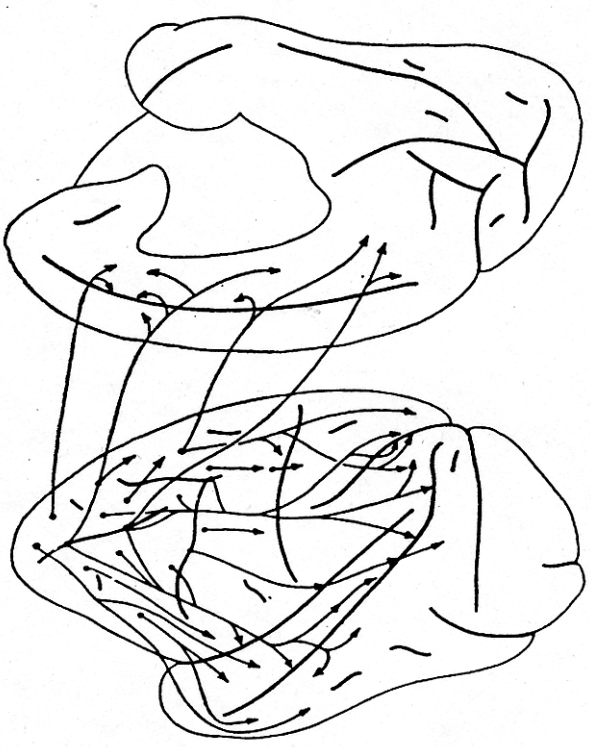
前頭前野からの遠心路（図６９）

＄（図６９）

簡潔にまとめてみると、前頭前野（前連合野）からの遠心路の終止領野は、1）頭頂連合野（主として７野）、2）側頭葉前方域、3）中古皮質（帯状回と帯状溝）および 4）後部上側頭溝周囲皮質と大別される。７野への神経路の起始細胞は弓状溝近傍域（6 野，８野）に多い。主溝隣接域を含めて、その背側部分は 22 野と、腹側部分は 20 野、21 野との相互結合関係が認められる。特徴的なことは、これらの連合線維群がサルの主要な脳溝である頭頂間溝、上側頭溝および帯状溝をかこむ壁面皮質部分に数多く終止することである。なおこのほか、前頭前野はその広範囲から６野に弓状線維を送るが、体性感覚運動野には送らない。また、一次運動野から後連合野に直接投射するものもない。これに反して、帯状回への投射はかなり強力で、前頭前野の広い領域－－少なくとも主溝およびその背側に位置する皮質全域－－から起こり帯状回の全領域（23 野、24 野）に終止する。そのうち、帯状溝の底部および腹側壁皮質部分に終わるものが多い。

前連合野と後連合野の間の密なる連携

次の問題として、前連合野から後頭、頭頂、側頭の各連合野を合わせた後連合野へのいわゆるフィードバックループと呼ばれる投射がある。要約すると、この投射にも背側と腹側の経路があるが、腹側経路を構成する成分は多いが、背側経路の成分は量的に少ない（未発表、サルの所見）。印象に基づく推定ではあるが、前→後の成分は量的に反対方向（後→前）の成分の半分以下と思われる（未発表データ、川村）。この連合線維の経路については形態学的に後述（47 節）される。



（図６９）図１０－４１－１：サル前頭前野からの遠心路（川村、１９８５）

機能的には時々刻々入力される感覚情報を後連合野で認知し、短期的に記憶に留める。それらを空間的・時間的に順次運動記憶として受け止めて、前頭葉内でワーキングメモリーの実行系を働かせて、知覚と運動を照合させた行為を遂行する。そのためには、前連合野 (前頭前野) と後連合野との間の幾重にも保証された連携が入用である [Fuster, 1995, 2000]。前頭前野は後連合野で認知した情報を背側および腹側のルートを介して受容し、その判断結果を再び後連合野へ情報として送り返す。坂井らはヒトで縦横２×２枠ボタンで「２× 10 逐次系列課題」（38 節内の注：参照）を施行し、fMRI を用いて視覚・運動連合学習の時間継続的な研究を行なった。そして前頭葉の背外側前頭前野と前補足運動野、および頭頂葉の前楔状皮質と頭頂間溝皮質の 4 皮質領域がこの学習にとくに関連していることを見い出し、初期段階である学習の獲得には前頭葉が、後期段階である想起には頭頂葉が関わっていることを示した [Sakai et al., 1998]。さらに、この大脳皮質に基底核と小脳が加わって、相異なる継時的な過程を保ちつつ、手続き記憶が長期記憶に変換される可能性を示唆した。

坂井とパシンガムはこの研究をさらに発展させ、実際に或る行為を試行する場合に、その前に何をするかをセッティング（心の中で準備）するという。テスト課題は記憶課題で、①空間位置を覚えるときと、②アルファベット文字を覚えるときの２種類の場合で、そのときの脳活動を比較した。どちらの場合でも前頭前野の関与は大きいが、①の場合は前頭前野－頭頂葉のネットワークが、②の場合は前頭前野－側頭葉、とくにウェルニッケ領野周辺部位のネットワークが活性化された。思い出すときに、刺激が呈示された順に答えるか、それとも逆の順に答えるかで脳活動を比較すると、記憶材料の違いにより異なるネットワークが活性化される点は変わらないが、正順か逆順かで前頭前野内の活性部位が異なることが見い出された [Sakai and Passingham,2003]。

これらの結果は、課題遂行のルールの制御には前頭前野の活動が重要な役割を果しており、課題遂行に必要な感覚情報は必要に応じて前頭前野によって後連合野から

リクルートされてくるという過程を示唆していると思われる。以上、脳内に生起する前連合野⇔後連合野の活動のダイナミズムを前頭前野が捉えるためには、その際必要な信号（情報）を処理するときに邪魔になる「雑音」を除去しなければならない。この際にも中および下前頭回の前方域（46 野、サルでは主溝の周囲領野）が関与する [Sakai et al., 2002]。過去の経験に基づいた行動的意味 (behavioral significance) を成就するためには、前頭前野の能動的活動、後連合野との記憶の照合および辺縁系からの情報に応える情動系の評価（価値判断）が必須の要素となる。この機能の役割は精神医学的考察を行なう際に重要な視点を提供する。

記憶想起の引き金となる前頭前野から側頭葉へのインプット（宮下）

宮下グループはサルを用いた生理的実験 [Hasegawa et al., 1998, 1999 ; Tomita et al., 1999] を行ない、前頭葉からの「フィードバック」の機能によって、側頭葉に保存された記憶が想起される際に、その記憶を検索する「引き金」となるインプットの指示が側頭葉に与えられること明らかにした。すなわち、宮下らは対となる図形の連想学習 を施行したサルの両側大脳半球を結ぶ交連線維の集合体である脳梁の後半部を切断して左右の側頭・後頭葉間の情報連絡を断った。この動物を用いて、図形連想時に側頭葉のニューロンの電気活動を調べた結果、側頭葉内記憶を検索する信号は前頭葉が制御しているという結論に達した。すなわち、末梢側から上行する（ボトムアップ）視覚入力情報が断たれていても、前頭前野からの作用 / 働き、すなわち下行性の（トップダウン）信号を下部側頭葉のニューロンが受けてその活動が誘発され、その結果、表象イメージである心象が脳内に呼び醒まされ得ることを示したものである。

「私は覚えているはず、キット想い出す！」（FOK）

宮下グループはさらに仕事を発展させて、ヒトで fMRI を用いて、記憶の「在庫状況」を管理しているメタメモリーと呼ばれる脳の働きの部位について調べた。われわれは今すぐに想い出せなくとも、それは自分の記憶庫の中にあるから、必ず想い出せると思っている（Feeling-of-Knowing、FOK）「事柄」がある。この（彼らの実験では「単語」）記憶を、おそらく何らかに連想づけながら想起させた。この時にとくに左側で、前頭葉内の背外側部、前方部、下方部、内側部の広い領域に強い賦活が観察された [Kikyo et al.,2002]。このことからこれらの前頭葉の部位がメタメモリーを担う、つまり記憶の「在庫」を管理する、脳の場所であると考えた。

順序づけられた音の連想作用

先に考察したように視聴覚間の類似性から推察して、これらの結果は聴覚性の音（符）の「順序づけ」を連想作用としてイメージ的に想起することにも関与していると思われる。実際、前頭葉深部あるいは島域付近に源（双極子の位置）を持つと推定される、音の想起 (imagery) に特異的な聴覚誘発反応を示すものが MEG により記録されている [Hoshiyama et al., 2001]。つまりここで言う「順序づけ」とは、演奏における「読譜」（もとは一つひとつの独立した音に過ぎない音符を並べることによって、そこに成立するなんらかのイメージを音（符）の連なり方から読み取る作業）、もしくは「聴受」において、具体的に音符を見なくとも（演奏家も聴衆も）、また響きを聴かなくても、脳内に音楽（のイメージ）を響かせることはできる。音楽家はこの回路を働かせて側頭葉に保存されている「響き」を前頭前野の働きにより活性化させるように練習を行なっている。

このように、側頭葉に蓄えられた絵や音の記憶を検索し、 能動的に制御するという前頭前野の機能がどの部位でどのように為されているのかを解析することが次のステップとなる。この課題に迫るべく、fMRI を用いて、サルとヒトに Wisconsin Card Sorting Test (WCST、ウィスコンシンカード分類テスト、注] 参照　) で課題が与えられたときに活動する領域を比較するなどの研究も始められている [Nakahara et al., 2002]。

前頭前野のもつ能動的統合機能―サルからヒトへの進化

サルやヒトにおいてみられるように連想作用は、比較的単純な要素的な連想から始まる。この個々の要素的な

注] :　この課題では２０枚の手がかり図形があり、これを各々４枚のⅠ－Ⅴの人工的カテゴリーグループに分け、各々のカテゴリーには想起すべき選択図形が１枚ずつ対応している。

注] : 前頭葉機能検査の国際標準テストで、色、形、数（各 4 個）のカテゴリーの認知やその一時的な記憶を転換しながらカードを分類していく。その際のセットの転換（一旦抱かれた概念や心構えから別の概念や心構えに移る心の状態）の機能を調べる代表的検査法である。この検査施行中に、前頭前野とくに下前頭回（44 野）の賦活がヒトでの脳機能画像研究で示されている（Konishi et al., 1998）。なお、統合失調症において、このテスト成績が不良となることが報告されている。

連想が関連し合って複雑な連想が脳内に観察・模倣・行動を通じて形成され、これらの連想の全連鎖として小さな最初の思考作用が生まれる。このように思考は連想から、つまり感覚受容器、末梢および中枢神経系が備える分析と総合の能力として発達する。道具をつくり使用する手段としての「手」の運動がサルさらにヒトと進化するに従って多種多様になり、分析能力と総合能力がますます高次になり、連想・信号の組み合わせが多様化し系統的になり、大脳皮質の高度化に伴って、新しい創造的な神経関連、すなわち新しい条件反射が形成される。そして遂には人間においてヒトの連想の特徴である信号の信号化である第二信号系が形成される。こうして特殊な、質的に違った約束的記号である言葉を使って思考することができるようになる。

ここで付言しておくが、rCBF、fMRI を用いたヒトの言語活動の最近の研究によれば、ことばを聞き、語る場合の脳の働きをみると、古典的に考えられていたように前、後、上の言語野（Penfield and Roberts, 1959）など領野的に３部位に限られたものではなく、さらに広範囲な、脳全体で少なくとも５－６カ所の領域が動的に活動しているというデータが得られている。この事実は、内言語を働かせて思考している時にはいわゆる古典的言語野以外の部位も活動しており、脳が全体として活動していることを如実に示している。

あらためて前頭葉の機能は？

以上、かなり広範に高等霊長類の前頭葉とくに前頭前野の機能について考察してきたが、前頭葉は機能・形態学的に幾つかの領域に区分され得ることが分かる [たとえば Levy and Goldman-Rakic, 2000 を参照]。すなわち、その領域的区分は明確ではないが、認知機能の高次化、行動の制御、選択、発現の統合的処理、複数行動順序の企画と実行、行動の時間的・空間的制御、ワーキングメモリー、能動的言語活動に、さらに、人間社会における道徳・倫理・芸術文化などに深く関連する自我の発現に基づく自主的創造性の育成、等々が挙げられる。しかし、前頭葉の機能を要約して言えば、能動的統合ということになるであろう [Miller and Cohen, 2001; Miller et al., 2003]。前頭葉―大脳基底核―視床―大脳皮質を包含する複数回路あるいはパラレル・ニューラル・サーキット（彦坂ら、９節、前出）の存在が明らかになり、前頭葉が著しく発達し、言語信号系が形成され、前頭葉活動が格段と高度化したヒトの脳を対象とする場合には、種々の異なる機能を統合する脳活動を全体的に考察することが重要となろう。なぜならば、脳領域には厳然として機能局在はあるが、一領域の単独機能の発現によるのではなく、複数領域間の相互作用によって、情報が伝達され、統合され、かつ変換されるのであって、この視点に立って脳活動の動的変化を考察すべきであるからである。今日の神経心理学、神経科学の成果を取り入れて、有効に結びつけて、前頭葉の機能性の異常としての精神疾患を診ることが現在求められている。その点で、たとえばヒトに非侵襲的に用いられる脳イメージング（画像解析）の研究は注目される。

ネコとサルにみられる連合線維の構成を比較する

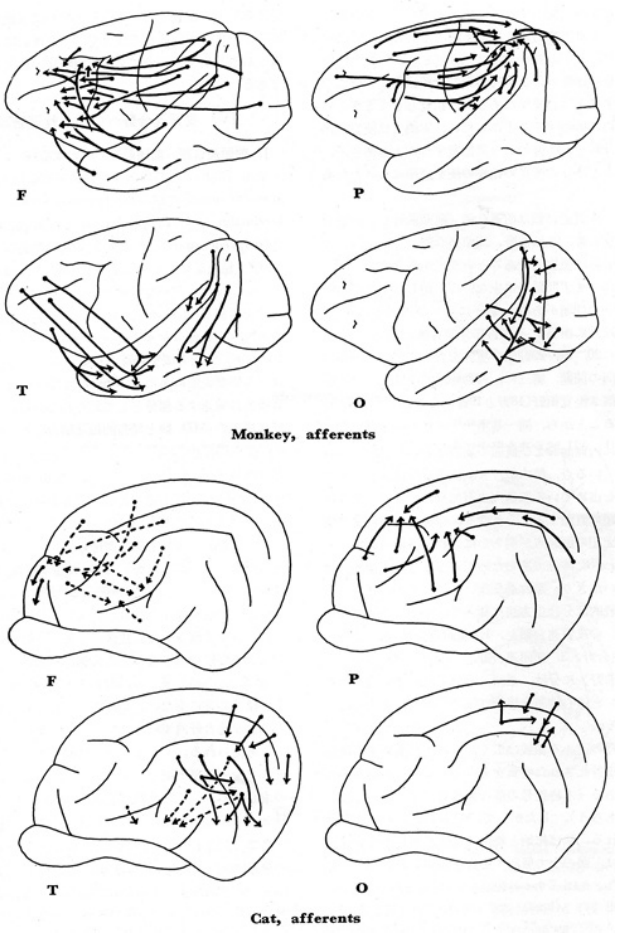
最初に、①前頭連合野 (F)、②頭頂連合野 (P)、③側頭連合野 (T)、④後頭連合野 (O) の各々の領域への求心性連合線維の模式図を掲げる（図７０）。

＄（図７０）

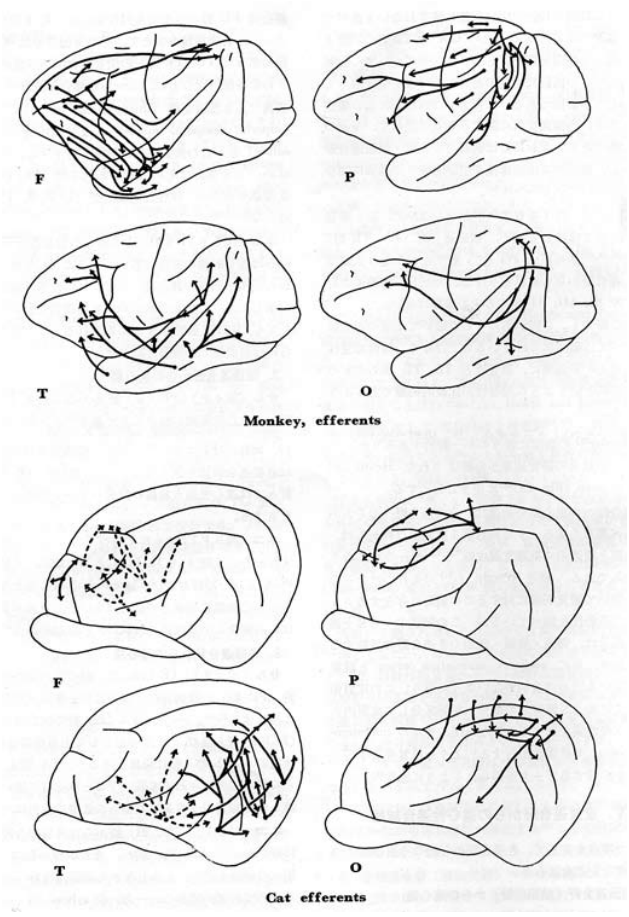
次に視点を変えて，①前頭連合野 (F)、②頭頂連合野 (P)、③側頭連合野 (T)、④後頭連合野 (O) の各連合野から起こる遠心性連合線維の模式図を掲げる（図７１）。

＄（図７１）

以上の模式図は実験データを基に以前に著者によっ



（図７０）図１０－４１－２：ネコとサルの連合線維構成の比較－各連合野への求心路　（川村、1977）



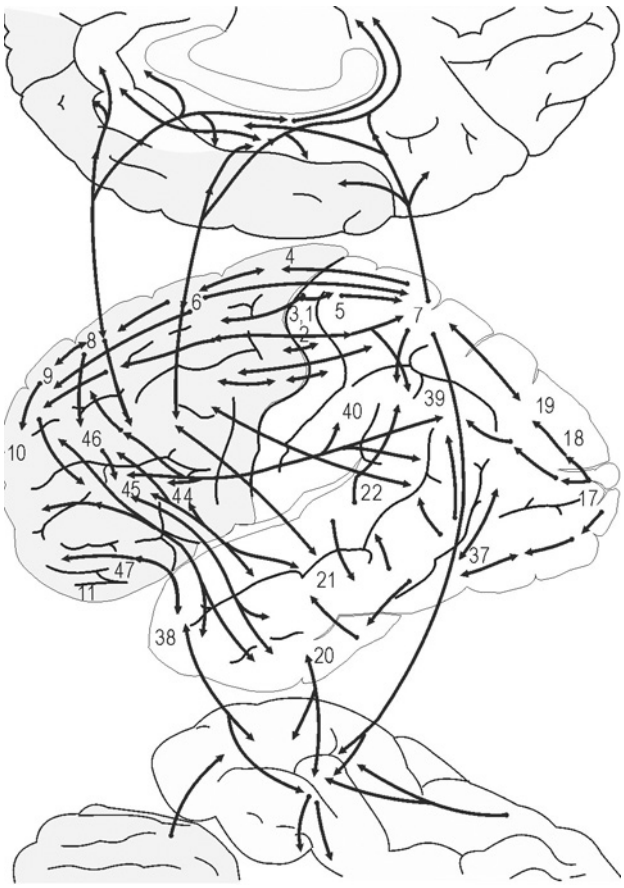
（図７１）図１０－４１－３：ネコとサルの連合線維構成の比較－各連合野からの遠心路　（川村、1977）

て作図されたものそのままの引用ではあるが [川村、1977]、その後に明らかにされたより細かい知見は３０年前の連合線維構成の見解を覆してはいないので、ネコとサルの大脳皮質の発達、とくに線維結合、を比較する上で、今なお有益であると考える。詳細な比較検討の考察は原著を読まれたい（筆者のＨＰ参照：http://web.sc.itc.keio.ac.jp/kokikawa　、とくに「脳の構成と精神機能」の補足部分）。

ヒトの前頭葉

前頭葉の働きを大胆に表現わすれば、" 低次 " から " 高次 " までを含む発展段階に相応した " 運動関連系 " の範疇に属するものの総体であると言ってもよいであろう。つまり、病的機転としては、運動麻痺も言語障害も自発性減退もすべて能動性機能の低下または障害として捉えられないだろうか。

本稿の最後に、ヒトの脳に存在すると考えられる連合神経路の摸式図（図７２）を掲げたが、これは上述のネコ、サルの知見（川村 , 1977）および 1940 年代にストリヒニン法を用いて得られたチンパンジー脳の所見結果 (Bailey et al., 1940, 1943a, 1943b) をも注意深く考察し



（図７２）図１０－４１－４：ヒト大脳皮質連合神経路の構成。アラビア数字は Brodmann の皮質領域を示す番号。ネコ、サル、チンパンジーを用いた実験データも含めて考察した（川村、1977）。

て作成したものである。　＄（図７２）

42 節　　音楽を演奏する際の脳内活動

内的形象のイメージを位置づける

これまでの考察の上に立って、ここで言語の一形態と考えられる音楽を演奏する際に脳がどのように活動しているか、また、響きを捉えて生き生きと演奏するには、どのように心得て、脳の活動の原理にマッチさせたらよいかという点について考えてみよう。

形象を対象とする彫刻家や画家はそれを具象化する前に内的形象のイメージを視空間内に位置づけており、楽曲にたずさわる作曲家や演奏家は内的響きを聴くことによって、現実の日常的空間とは次元を異にする音空間を創造している。専門家は訓練を重ねることによって、光源や音源が実際に存在しなくとも、形や音のイメージが連合野内に連続的に想起されるような技を身につけている。

前に例示したように (4 節) fMRI で調べてみると、演奏家の脳では楽譜をみたときに聴覚連合野のウェルニッケ言語野が活動しており、音の流れを文字の流れとして

捉えていることが判っている。この際、これまでの実験（に用いられたサンプル）によれば視覚性言語野は活動していない点から考えて、視覚からの入力ではありながらも楽譜を単に視覚的にイメージングするのではなく、一種の文脈、すなわちことばと同様に一定の意味を形成する響きとして読んでいることになる。次に、このようにして形成される内的響きを聴き手である他者へと伝達し、外化させるために運動エネルギーへの転換が必要とされることになる。

演奏―内聴の響きをイメージして運動化する

従って演奏とは、聴き取られた響きのイメージの運動化であるということになろう。無論このときに、既に長期にわたる学習を通じて獲得された自動的運動パタン、つまりどのような運動によってどのような表現が可能になるかという、記憶に組み込まれた運動パタンへの自動的スイッチ・オンがなされ、その共働によって演奏という運動は具体化されていくことになる。ただし、自動的運動パタンはあくまで補助的運動として捉えられる必要がある。表面的には同一の自動的運動パタンによって表現され得るかと思われる、たとえば「悲しみ」といったごく普通の、いずれの音楽作品においても共通の表現パタンをとるかに思われるイメージも、作品毎に、あるいはこのイメージが顔を出す毎に、異なる「悲しみの情」を持つからである。

共通性と一回性の相互浸透

このような共通性と一回性の交錯する中で表現は行なわれ、しかも後者の一回性が優位に立つことによって、演奏の独創性、つまり一回性も成立するからである。ごく一般的な現象として、オリジナリテイのある、一回性の強い演奏が多くの人々によって優れた演奏であると判断されるのも原因していると言えよう。

一般の聴衆もまた、聴く経験を重ねることによって、実際に運動としての演奏は行なわないまでも、演奏家と同様の内的演奏を脳内で行なっているのである。別の言い方をすれば、学習によるパタン的運動を基にしながらも、何かそれとは異なる一回的、個的なものを優れたものと判断する、判断機能がヒトの脳には備わっているということになる。その判断機能は上記の、後連合野と前頭前野との共働に、何か真に個的なものを求めて働く機能の中に存在するであろう。

石塊の中に形を予見するミケランジェロ

人間は、人間としての普遍性を備えながら自己の個を意識する動物であり、またさらに、普遍的人間としての個を超えた真正の個である超越的なものへと向かうものであろう。このこととこのような日常的表現活動における普遍（パタン運動）と個（一回性）との関わりはおそらく同一の、上の判断機能に由来するものであると考えられる。演奏や、広くは人間の美意識、美への判断は、人間の在り方、存在の方向そのものを規定する脳の形態によってはじめて可能になる、美として発現された脳機能である。

このことは実際の演奏を必要としない視覚芸術にもあてはまると考えられる。たとえば、石を削る前にミケランジェロがすでにその対象・石塊を前にして心の内に削り出されるべき形を予見するとき、おそらく視覚性言語野が活動しているものと推察される。そこには、聴覚、視覚のみならず、一般感覚、内臓感覚をも含む全感覚（の認知）が動員されて、そこに総体としての興奮が生まれてくる [Macaluso et al., 2000]。そしてこの興奮の皮質内伝播によって、視覚性言語野に創り出されてくるイメージ（image）を具象化させるべく、実際の形を石塊から削り出す作業がなされる。その際に、視覚性言語野に形成されている内的イメージと、削り出されつつある実際の彫像形とが、絶えず照合されていくことは改めるまでもないが、このような内的イメージの外化の過程が芸術における創作であろう。このときの形を響きに置換すれば、それは音楽の創造にも演奏にもなる。演奏においても、自分が響かせている音が正しいかどうかのチェックが、自分の内なる響きとの絶えざる照合によってなされ、それに基づいて演奏と呼ばれる運動を修正していくからである。

ベートーヴェンの創作スケッチ

なお、この内的イメージと外形との照合が必ずしも内→外の一方向的なものではなく、内と外との相互的照合・修正であることは、たとえばベートーヴェンが残した多数の創作スケッチから知ることができる。内的イメージが外化されることによってより正確に、もしくはより良いものとして認知し直され、さらにまた、この修正された内形によって外形が作り直されるという作業が繰り返されるのである。つまりそこには、内的イメージとして形象化されている一種の概念もしくは原イメージとでも呼ぶべきものの存在が認められる。あるいはそれは言語野としての機能に根ざした言語性の概念であり、それが視覚性もしくは聴覚性言語野に投射されて、ベートーヴェンの場合には内的響きのイメージが抽出されてくることが推定される。いずれにせよ創作においては、創作

活動を通じて伝達されるべき事柄に根ざして内的イメージは形成されてくるので、言語野における概念を作曲における原イメージとして捉えることは可能であろう。

音楽・言語・情動

この時には、前頭前野（前頭連合野）→高次運動野→一次運動野（→そして一部の興奮が後連合野にフィードバックされる）として形成される神経回路 (neural circuit) が言語野および情動の回路と結びついて形成される。歌詞の内容を識って聴く、オペラやミサ曲などやジャズ、ヴォーカルまで含めた種々の声楽曲において、知らずに聞く場合に較べて情動中枢が強く刺激され、芸術の享受において、それも知（ロゴス）と情（パトス）に働きかけて芸術作品によって伝えられるべき事柄の認知へと享受者の脳を活性化させるに当たって、言語中枢への関与が重要な役割を演じることを改めて意識させる。

一つひとつの言葉に含蓄される意味の理解、いわば言葉の内的意味・機能に対する理解の深浅に芸術創作ないし鑑賞が大きく依存することはそれを体験する者が切実に知るところである。芸術の働きかけによってもたらされる美意識、情動性、思想性の涵養、さらにはそれらの総合的働きによって作り上げられる人間性の完成を如何に位置づけるかは、脳全体の活動とそれを支える上記の脳内関連領域を結びつける神経回路（網）の形成という問題に帰着する。

この際、能動性をもった運動表現の時に考えておくべきことは、一つひとつ意識的に運動領内のニューロンを活動させることを学ぶ初心者はともかく、最終の出力が単に一次運動野だけにとどまるものではないことである。これに関与するものは、脳幹内にその機構の中枢が存在する歩行や自律系のリズムに始まり、小脳と大脳との間の相関作用が作られ、中脳ドーパミン系と結びついた大脳皮質―広義の大脳基底核の広範囲にわたる働きが考えられる。これにあらゆるレベルで神経伝達物質、ホルモンなどの液性伝達の機構が関与している。

「芸術の回廊」はどのように成熟するのだろうか？

最後に、以上の神経回路は、どのように、何歳くらいまでに成熟し、完成するのであろうか。これはある意味では仮説を重ねなければ説明できないものである。この内容を全般的に取り扱うのは無理難題に近いので、ピアノ奏法、情動や概念の形成、自我の発達、そして脳の発達、神経回路形成の異常という順序でそのいくつかの要点に触れながら論を進めることにする。

ピアノを弾くためには指だけでなく、手首、腕、さらに身体全体を使うような色々な運動が必要である。しかし、一番の基本になるのは常に指先を意識して、キー（鍵）を正しく打鍵することであるが、どのようなものが「正しい打鍵」であるかを決定するのは必ずしも容易ではない。またピアノに限らず、歌を歌うことも含めて、あらゆる演奏にとって重要なことは身体の力を抜く、いわゆる脱力であり、脱力がなされていないときは「正しい打鍵」もまた不可能である。

脳生理学的に言えば、過度に意識して随意系運動すなわち錐体路系を働かせないように、大脳基底核や小脳を含む錐体外路系を前頭前野を主体とする全新皮質の支配下において調和的に活動させると言うことになろう。このことはスポーツなど運動一般について当てはまることである。ともかく、ピアノ演奏における指の運動性について言えば、１０本の指がそれぞれ独立してよく動かなければならない。指の大脳皮質運動野における再現域はサル、ヒトで拡大する。この手の指を動かすための皮質運動ニューロンが集合している、手指の再現域としての領野は舌の運動に関する再現域と運動性言語野に隣接している。これらの領野は短い連合線維（弓状線維）によって結合されている。

美しい音を響かせるよい演奏をするには、おそらく言語の発音＝舌の運動＋発音をコントロールする運動性言語野との相関の中で、指の脱力によってもたらされる指の自由自在な動きをコントロールして、指で語らせる打鍵を促す、言語表現機能を司る運動野からのニューロンの刺激による打鍵をせねばならない。子供にピアノを教えている音楽家に聞くと、上述の髄鞘形成も含めて大脳皮質構造の発達や指骨の発育の他にも、指の運動に関連する靱帯、腱、筋、関節および支配神経の習熟的完成が可能になるちょうど思春期 (15-20 歳) の頃にこの技法が身につくのが一般的であると言う。思春期には声帯も形態的に変化し、ホルモンのバランスも変動し、20 歳を過ぎて固定化する。

ヒトの前頭葉の最後方部位には、中心溝に接して一次運動野（４野）がある。下肢領域が内側面に、そして胴体、上肢、顔面、舌、手指という順に大脳半球外側面で背側から腹側にかけて、舌、手指の複現域などはとくに広い面積をしめる形で配列されている。この部位の神経細胞の興奮が即外界に対する能動的活動すなわち運動の開始である。外界の世界（自然界および人間社会）からの刺激が感覚器官を通じて中枢神経系内に取り込まれ、感覚され、知覚され、認知されて脳髄内に外の世界が意識的に「反映」、つまり映し出される。言語（ロゴス）と情動（パ

トス）の作用ないし処理により感覚の認識が掘り下げられ、前頭葉内の前頭前野に入力されて、そこでその情報が、適切に処理され、変換され、意味づけられて (convert, connotational processing)、たとえば芸術では美的表現形態として外界に投影される（前述　38 節参照)。
これらを可能ならしめる脳の成熟のうち、上述したように多元的ではあるが、それらの全体を総合するものとしての " 神経回路（網）" が存在するという形態的確証はまだ得られていないが、その可能性は充分にある。脳の成熟と人間の成熟とが不即不離であることは言を俟たないが、そのような成熟に関してこの神経回路網の形成とその成熟（完成という言葉は使わない）によって､知､情､意のバランスのとれた働きと共に人間性の著しい深まりがなされ、思想性を帯びた概念を形成することができるようになるのは、上記の思春期においてである。
この発達過程の中で青少年は他人との共同作業におけるコミュニケーションを通じて、合成語を作り、動詞と名詞と助詞を結びつけ、動詞の時制を知り、能動と受動を区別し、動詞や形容詞や分詞さえも中性名詞化し、抽象化した名詞や動詞を使用して、言葉を柔軟に操れるようになる。同時に人間社会の中で怒り、愛し、自己主張する中で、喜怒哀楽を

コントロールすることを学ぶ。また、仲間との会話、討論、読書、執筆などを行なう中で哲学的に思想を表示できるようになる。すなわち、思考の全機構（メカニズム）を想像の所産から切り離して観照することができるようになる。勿論このプロセスは nature（遺伝子）と nurture(養育・教育、環境) の合体産物として成熟するものである。内省的に思索し、哲学することを好むようになり、自我が確立される時期である。

43 節　分割された脳と分離された精神

機能的結合の解離・離断

ところで統合失調症の多くは脳の発症脆弱性（仮説）と社会・生活環境の中での精神的負荷（ストレス）の上に思春期以降に発症すると考えられている。他人とのコミュニケーションがうまく行かず、自己の内に閉じこもりがちになる。能動的志向が徐々に低下し、知的障害はないものの、思路がたどれなくなるといった思考の障害や認知の障害がみられ、連合弛緩や幻覚、妄想が時に現われる。古人が一言で「精神乖離症」や「精神内界失調症」と言い当てているが、統合失調症（＝精神分裂病、schizophrenia）という現代の用語はそのまま語義的には split mind（分離された心／精神）と表現されるものである。なお、ブロイラー（E.Bleuler, 1911）は、クレペリン（E.Kraepelin、1883）が名づけた「早発性痴呆、Dementia praecox」から、この病の「痴呆」の本質は知的能力の低下にあるのではなく、精神機能の解体・分離にあると症状を分析して、「精神分裂病、Schizophrenie」と命名した。これは当然のこととして、神経学の対象とする脳の split（分割された脳）とは異なるもので、前者は精神の split としての精神症状が時として周囲の人達にも分かるように顕在化するのに対して、後者の方は常に存在する明らかな神経学的症状である。

このように、"split-brain"（分割された脳）が脳の器質的障害で永続的であるのに対して、"split-mind"（分離された精神）は機能的な disconnection syndrome（結合解離性）で非永続的な徴候を示す。この分野は精神と「こころ」の領域に属し、多次元的である。一方の split-brain の症候は 19 世紀以来の研究である失語（言語障害)、失行（行為障害)、失認（認知障害）に代表わされる大脳病理学・神経学の範疇で、最近は 1960 年代にはじまるガザニガとスペリーらの大脳交連線維（脳梁、前交連）の切断による症状の研究が有名である [Gazzaniga, Sperry et al.,1965, 1967]。

もう一方の split-mind は、言ってみれば、「自己の心的作用の中に他者が入り込んでくる、split into」という意味を含んだ「精神的」用語である schizophrenia (shizos=separate; phrenia=spirit, mind) を単に置き換えただけの言葉で、元来、脳科学と結びつけて用いられてきた用語ではないが、ここで精神内界の乖離 (intrapsychische Spaltung) という精神医学の用語の概念を、敢えて脳機能学の立場から考察してみる。ここで改めて思い起こされるのは臺（1995）によってなされた「split-mind としての分裂病を材料として、これを照合障害とみなして、split-brain (分離脳) と同じように研究することが必要である」という指摘である。以下の記述は初歩的で、多分に形式的ではあるが、何がどのように split（分離、離断）されるかを考えてみる。

便宜的ではあるが、Split の部位を以下の３つに大別して①、②、③の順に考察する。

①前脳（終脳と間脳）と中脳・後脳（中脳以下延髄まで）との間の rostro-caudal 間（皮質・皮質下間）
②右大脳半球（略して右脳）と左大脳半球（略して左脳）との間の left-right 間（左右半球間）
③大脳皮質前部域（前頭葉）と後部域（頭頂葉・側頭葉・後頭葉）との間の antero-posterior　または fronto　and perieto-occipito-temporal　間(いわゆる能動脳･受動脳間)

皮質・皮質下間の分割（①の考察）

外界から刺激を受けて感覚器官内の感覚細胞は興奮するが、その興奮伝達は脳幹レベルにとどまり、大脳皮質に到達しない。従って、高次の情報処理ができず、外界に働きかける運動の形態も反射的である。先のマクリーンの「脳の階層性の三位一体の図式」から言えば爬虫類脳のレベルである。奔放な欲動的なものを本質とする情動発現に対して上位からの抑制がかからない。新皮質の増大へと発展する脳の形態そのものが、たとえばヒトとしての在り方にとって決定的に重要な理性的判断や道徳・倫理の意識を高め、それがヒトとしての在り方から外れるような行動を抑制させるのに対して、この爬虫類脳のレベルでは外界から得る感覚入力は嗅覚（系）が大部分を占め、他の感覚様態と体内からの内臓感覚は中脳のレベルで伝達が機能的・一時的にストップすれば全く無意識的、無条件反射的となるからである。また、間脳・大脳基底核のレベルでストップすれば、運動処理は線条体で、感覚処理は視床で、情動処理は扁桃体を中心とする辺縁系領域で、自律系・内分泌系の機能は視床下部、下垂体系で、大脳皮質からのコントロールなしで行なわれることになる。生物体の精神ないし、いま仮にこれを「こころ」と呼ぶとして、その状態像は「無秩序的（気ままな）安定」、つまり生体レベルでの個体にとって安んじていられる状態ということになろうか。すなわち、生体機能としては、生命を維持すれば足りる、低レベルでの個体内欲求に支配されるため、個体外との情報交換による意識的自己保持への道が断たれるため、生活環境の変化に適正に素早く適応することが非常に困難な状態にあると言える。

左右半球間の分割（②の考察）

1．脳幹における左右連絡

魚類の左右大脳半球には、終脳の前方部に嗅脳と呼ばれる膨らみがみられ、それが終脳のほとんど全体を占めている。ヒエラルキーのより高い感覚様態に属する視覚、聴覚系の分析器としての大脳皮質は魚類には存在しない。これらの感覚は中脳レベルで処理されるからである。左右半球間の情報処理は動物の高等化にともなって中脳・後脳レベルの段階から終脳に移行する。詳しく言うと、発生学的に古い系統に属する第Ⅷ神経系では延髄レベルで聴神経系にも前庭神経系にも、機能・形態学的に左右間にコミュニケーションが認められる。

体性感覚系は、脊髄レベルで原始的触覚、温痛覚が、延髄レベルで識別的触覚が左右相交差して、それぞれ間脳の視床特殊核まで脳幹網様体内を上行して興奮を伝えている。その伝達経路の途中で、網様体内に存在する神経細胞に多数の側枝を出してシナプスを作っている。この側枝と網様体ニューロンの突起を介して両側間のコミュニケーションが行なわれている。この大脳皮質レベルに達しない､意識下の（意識にのぼらない）脳幹内全体（延髄、橋、中脳）の左右間を含めた情報処理機構の興奮と抑制の過程は覚醒と睡眠と呼吸循環などのリズムの根底 (basis) をなしている。

2．前脳（終脳と間脳）における左右結合

興味あることに、感覚情報が集中する、そして哺乳類などの高等動物では、脳の下位中枢から上位中枢すなわち大脳皮質への上行性刺激伝達の内で中継核として位置づけられる視床（核）においては、左右の交連は機能していない。実際、解剖学的に左右の視床を連絡する交連線維群とされている視床間橋 (adhesio interthalamica) または中間質（massa intermedia）と呼ばれる構造物がある。内部に神経細胞を多数含んでいるが、神経線維は少数で、しかもヒトでは退化的で 20%のヒトに欠如している。もっとも、下等哺乳類以下の動物では、運動機能の処理が大脳基底核に属する線条体を含む「錐体外路系」と相呼応して、この視床諸核で感覚情報の最終処理が行なわれる可能性が充分に考えられるのであるが。

この他の交連線維としては、左右の視蓋（中脳背側部)、視蓋前部、ダークシェヴィッツ核、カハール間質核などの諸神経核間を結ぶ後交連 (commissura posterior) や、情動・記憶系に属する辺縁系に関連する視床上部にある手綱交連、それに原始皮質 (archicortex) を結ぶ脳弓交連や海馬交連、および左右の嗅脳部 (古皮質 [paleocortex] および原始線条体 [archistriatum]) を結合する前交連がある。前交連は系統発生学的に古い終脳の交連線維で、高等動物ではさらに側頭葉新皮質の一部の交連線維もこれに加わっている。

3．脳梁切断

しかし何と言っても、ヒトで最大に発達し、左右の大脳新皮質を結合する、系統発生学的に最も新しい交連線維は脳梁 (corpus callosum) である。これまで脳の構成として左右対称性と左右各半球部の主に相同部分の結合について述べてきたが、以下に split-brain の本論である脳梁切除脳についての研究とこれらから類推される、この範疇の split-mind について考察を進めることにする。

臨床的な観察によると、海馬は一側を切除しても、他

側が正常に働いている限り、日常の生活に支障をきたすことはない。しかし、両側を切除すると過去の意識の流れを再現わする機構が失われてしまう。大脳新皮質の半側切除についての手術後の経過報告については平尾の研究があるが（私信）、一側半球だけでも－たとえば右半球のみ残された患者においても－認知機能とくに言語系の条件反射第二信号系に関与する、理性・判断・記憶などの知的能力の低下はみられるものの、通常の人格(Pers?nlichkeit) の一部として認められる精神的感情・評価・欲動などは保持されていることが知られている。

以上のような切除やここで問題とする脳梁の切断の手術は、20 世紀の前半に、腫瘍患者やてんかん患者の症状の進行を防止する、すなわち発作の半球間拡延を抑えるための治療目的で行なわれた。ガザニガとスペリーらは、一部前交連も加えて脳梁を切断した症例、いわゆる split-brain 患者を対照として種々の検索を行なった。そして、それらの患者において、左視野の物品呼称障害、左視野失読、左手の失書、右手の構成失行などが観察された [Gazzaniga et al., 1965; Gazzaniga and Sperry, 1967]。重要な点は、この大脳交連線維切断例の研究によって、ヒトの左右半球間に機能分化が存在すること、それは如何なる性質のものか、左右半球間の話し合い、すなわち情報処理交換の作用、ひいてはいわゆる精神活動として、これらの機能の全体がどのように統合されているのか等々について、具体的事実を示すデータに基づいて、左右の半球と認知の問題について大きくは誤らない範囲で総括的な考察をすることができるようになったことである [Gazzaniga and LeDoux, 1978]。

４．半球の特殊化（ラテラリゼーション）

ここで、ラテラリゼーション（lateralization：＝半球の特殊化、hemispheric specialization）の問題について若干考えてみよう。心臓や脾臓など内臓器官や肺臓や気管支や主要な血管などの呼吸循環系などの位置 / 形成に左右差ないし非対称がみられることはよく知られているが、接着分子のひとつである N-Cadherin（カドヘリン）が胎仔期の左右差形成に関与すると考えられている [Garcia-Catro et al., 2000]。そもそも左右相称のマウス胚になどの哺乳類でオーガナイザー活性を有する結節 (　注：node、ノード、受精後 7-7.5 日目に形成され、ニワトリ胚のベンゼン結節、ゼブラフィッシュ胚のクッパー胞、アフリカツメガエルの原口背唇に相当する円筒状の組織で、その細胞の表面には運動能を有する繊毛があり、内部の液体を一定方向に動かす「ノード流」を作り出している) に極性が生じることが左右非対称組織 / 器官の形成の端緒である。この左右の情報の差が体全体の情報として側板中胚葉に伝達される。この際、側板中胚葉、とくに左側、に存在する TGF- β スーパーファミリーに属する分泌タンパク質である Nodal やそれを制御する Lefty がそれに関与し、これら左右非対称の情報をもとにそれぞれの器官原基で左右非対称な形態形成が進行する（川上、2005）。ここで、ホメオボックス転写因子 pitx2 が左側の決定因子として関与する。この現象は脊索動物（ホヤ）から哺乳類まで共通にみられる [Concha et al., 2000; Concha and Wilson, 2001]。

この位置情報を担うシグナルは、当然のこととして、神経管の形成にも役割を演じると推察されるが、中枢神経系内の左右差の決定に関与すると考えられる遺伝子や分子の存在とその作用についても今後明らかにされるであろう。ただ、哺乳類の間脳以下のレベルで、たとえばモグラ、ゼブラフィッシュにみられる手綱核やサカナのマウトナー細胞などで、形態学的に明らかな左右差が認められている。また、トリの線条体（とくにトリに特有の構造とされている高次線条体 hyperstriatum）やヒトの側頭葉皮質における左右の形態的差異や霊長類の顔の表情や声の表現の際に大脳皮質に機能的ラテラリゼーションが観察されることが報告されている（これらの研究の文献を含めて総括的に編集された書物として [Rogers and Andrew, 2002] を参照されたい）。

終脳に関して、ネコ (Kawamura, 1971) とイヌ (Kawamura and Naito, 1978) で脳溝の形の変異を調べたとき、内側面皮質で認められる脳溝の変異が右側に多いのに対して、外側面では左側に変異が多いことをネコで発見して以来、筆者は高等哺乳類の左右差に関心を持ち続けてきた。より活発な発達により高い変異が伴う可能性を大胆に仮定すれば、左側大脳半球外側皮質の発育は右側に比べて、何らかの理由で少し早くスタートするのかも知れない。

最近、マウス海馬成熟組織で、NMDA(N-methyl-D-aspartate)　受容体の GluR ε 2 (NR2B) のシナプス分布に左右非対称が認められるという研究 (Kawakami et al., 2003) や、ヒト胚の大脳皮質における遺伝子発現を、継時的遺伝子解析法（serial analysis of gene expression, SAGE）で調べて、そこに左右非対称性を示す２７の数の遺伝子が認められたという研究（Sun et al., 2005）があり、終脳の両半球における構造および機能上の発達の分子基盤を提供するものとして注目されている。しかし、現状では、サルの大脳皮質機能、とくに認知機能や情動機能などの左右差についての実験的研究は殆どなされていない。脳が進化・発展して、ヒトの大脳半球が形成さ

れる段階にまで発達した時にはじめて、左右半球に機能の差異が生じてきたように思われる。とくに、ヒト側頭葉における側頭平面にみられる左側優位の発達については調べられている (Galuske et al., 2000)（前出、4 節）。このように考えると、ヒトの大脳半球の左右差、とくに機能的な区別ないし優位性は、脳髄が発達・進化して言語機能を備えるに至る過程と深い関連があるように思われる。

5．ヒトの右半球と左半球

ヒトとサルの大脳皮質の発達で著しく異なる点は、皮質内の細胞（ニューロン）の形態や配置などの皮質構築を一応度外視すれば（ただし、この皮質構築およびそれに基づく神経回路網の形成 [30 節、参照] こそが、本来は最も大切な相異点であるのだが)、次のようになろう。①後連合野および前連合野内に各々に発達した言語野の有無、②前頭葉とくに前頭連合野（＝前頭前野）の著しい発達、および③連合線維（＝同側性皮質・皮質間結合線維）の発達とくに前頭葉と頭頂・側頭葉との間の線維結合の発達の差というようにまとめられよう。

限られた頭蓋腔内で、このようなさらなる進化、つまり機能分化に伴ってのこれ以上の脳の容積の増加が望めないという条件下で、両半球間に優位性が認められるようになる。しかし、この優位性はあくまでも相対的なものである。この点で言えば、左半球は、物品呼称、話し言葉の理解、音読、読解、書字など、明らかに言語機能の処理過程において右半球より優れている。他方、右半球は、視覚的に図形や模様を認知し、断片化したものを合成・形成していく機能や、直接知覚的統合的あるいはゲシュタルト的な過程において (Sperry)、また、手を使用して空間的情報を模索し変容させる機能において (Gazzaniga) 左半球よりも優れている。

6．左右半球間の機能上の相異

ここで、こうした問題への理解を深めるために言語における記号（文字、音声）の処理過程について心理学的考察をしておくのが便利であろう。繰り返すが、大脳半球の左右間に差（優位性）は存在するが、絶対的でなく相対的である。また交連線維系を介して情報を交換し合っている。以上を念頭においての考察である。なお一般に言語は理性的・理知的であり、音や色彩は感性的・情緒的であり、左右脳の機能区分もこれに呼応していると考えられている。更なる今後の実証的研究により、その証拠が豊富になり一段と高いレベルの解釈が可能となると期待される。　脳の科学のみならず記号論、言語学の領域における研究が進展している今日、少なくとも次の点は考量されるべきである。つまり、言語や音や色彩といったものは、いずれも、その用い方によって論理的にも情緒的にもなり得るものであり、脳機能の実験のためのサンプリングにおいてもこの点は充分に注意される必要がある。今日に至る実験の中で用いられてきた素材が、左右脳の機能分化の側面を浮き彫りにする性格のものであったとしても、得られた今日の実験データから、科学的な論理に基づく考察によって、言語や音・色彩そのものの論理性・情緒性を導き出すように努めることは大切なことである。この作業は決して文学的な類推では解決できない。

くり返せば、たまたま言語に関する脳部位の認知レベルで捉えた実験結果から言って、左脳優位に活発な反応を示してはいるが、その他に目に見えない部分での働きが解明されるべく残されていることを知るべきである。たとえば、言語表現に限ってみた場合でさえ、人間の表現能力にはきわめて多様なものがあり、同一の事柄に関しても多くのことば、多くの文章でこれを表わすことができるし、なんらかの事象を事象それ自体として表わすこともできれば、これに多彩な色づけをすることもできる。

また、当然のことながらことばを聴く場合、その意味の理解、入力された情報の解析には記憶が関与しているわけであり、記憶には普遍的な事象から個人的経験によるものまで数え切れないほどの多層性がある。たとえば「雨」と言った場合に、雨を単なる物質 H2O として捉えることもできれば、雨にまつわる経験の枠内でなんらかの情景の連想の中で雨を感じることも、また暗い空を背景とした色彩性の中で雨を見つめることもできる。果してこのようなことばに対して、ことばの背景、ひとつのことばとなって形象されている世界の全体を、左脳優位の言語野で処理し得るのか否かは疑問である。従って、現在までのところでは、言語の表層的構造であるとか、表層的文法であるとか、第一次的に人間の感性が認知し得るレベルにおいては、言語は言語野が第一次的にこれを処理しており、ことばの背景、ことばの世界といった第二次的な、いわば考え、思索し、直感を鋭くすることによって見い出される第二次的・第三次的な深層に関しては、脳のどの部分が対応しているのか特定することは非常に難しい。

もしも原言語、原イメージのようなものが存在するのであれば、脳のどこかの部位ないしなんらかの神経網内に、原言語野、原知覚機能が存在している筈であり、現在言われている言語野は、この原言語野との相関性の上

に立ってことばを捉えていると考えられるからである。この、未だ目に見えない原機能は、無論音にも色にもあてはまるものであり、左右脳の機能分化は、たまたま、その方が多種多様な情報、入力処理・認知に素早く対応できるからであると判断される。少なくとも、情といったものを論理的に解明も説明もできない現状においては、言語＝論理的＝左脳優位とするのは、人間の表現活動やこれを司る脳の活動をごく表面的に捉えているに過ぎない。論理的・文法的・法則的なものが左脳優位であるにせよ、だからと言って情が非論理的であることを現在の人間の知識・考え方で証明することはできないことを忘れてはならない。以下の記述は、このような現状を前提にしてのことである。

右半球の働きは、図形的記号によって伝達される像の意味内容の解析と結びついており、その処理様式はイメージの助けを必要とする推理課題を解くのに適している。それに対して、左半球の働きは、意図的な言語学習に適しており、意味を担う記号と記号との間のいわば法則的な関係、あるいは、その対象が備えている属性の間の関連を結びつけるように機能しているように思われる。

こうしてみると、脳梁線維の働きによって、右半球が獲得した知識は、やがてその意味の解析の必要性に応じて具体的で直接経験的な色彩から、左半球に移って一般化され法則化されていく。また逆に、左優位と考えられる言語のようなものも、左から右への伝達によって、左右脳の共働の中で文法的側面、色彩や直接的・個的経験性等々の多様な様相を明らかにしていく。なお、歴史的事実として、神経系の階層理論の祖ともいわれるイギリスの神経学者ジャクソン（1835-1911）が大脳半球における言語機能の図式的局在論に異を唱えて、「上級言語（知的言語、随意言語）は左半球優位、下級言語（感情言語）は左右両半球が共に関与する」[Jackson, 1874] という見解を持っていたことは興味深い。

7．Harmonic 音と inharmonic 音に振り分ける機構（角田）

ここで言語（ことば）、とくに音声言語と音（楽）（言語性と非言語性）・聴覚の問題についての角田の研究 (1978, 1992) について、またその理論に関して触れておく。彼は発達期の脳の可塑性、つまり脳は形態学的・機能学的・化学的に環境の変化により大きな影響を受けるということに注目して、人類に特徴づけられる言語習得 (もしくは獲得) と、言語と非言語情報に分けた上での聴覚系の関係およびそれらの大脳半球優位性について調べた。角田によれば、２つ以上の狭帯音雑音の組み合わせ音について、その周波数比を変えて優位性を求めると、整数比にある harmonic な組み合わせの音は左耳つまり右半球が優位になるが、非整数比の関係にある複雑な周波数の組み合わせからなる inharmonic な音は逆に右耳つまり左半球が優位となることが見い出された。このように、われわれの聴覚系は、脳内における内言語化への過程においてなされる、言語情報と非言語情報への組み分けの前段階で、既に外界の音を自動的に周波数比による音の性状に従って harmonic と inharmonic の音に振り分けるスイッチングの機構をもつと考えられる。

先の彦坂らによるリズムのスイッチとの関連性の上で判断したときに（36 節）、この harmonic と inharmonic との識別がどのようにリズム・スイッチに合致するか、捉え難い面もあるように思われよう。しかしリズム・スイッチにおいては時間的認知に主眼点が置かれ、角田の場合には言語における音高の有無ないし２つ以上の音の縦関係が問題にされている点は注意されてよいであろう。角田は「楽器音・オーケストラ合奏音・パルス波・鋸歯状波などは倍音構造をもっていることから劣位半球優位であったことが理解できる」（『日本人の脳』79 頁）と記しているが、これはあくまでもごく大雑把に音を捉えた場合のことであり、オーケストラ合奏音が常に harmonic であるわけではない。

なお、角田の研究にみられる優れた着眼点、成果は今日の研究・実験レベルの点から改めて検証される必要があると言えるであろう。角田の実験をより精密化することによって「人間の聴覚脳」にさらに新たな照明が当てられよう。いまもなお、多くのヒントを含んだ角田の著作である。が、ある言語の特徴や特殊な環境要因の影響などをここでは捨象して、人間の脳をより一般化した対象として考察したいと思う。すなわち、角田は実験結果から上記のスイッチ機構には、ヒトの脳では単純に音のスペクトルに応じて皮質下で無意識のうちに自動的に働く「下位のスイッチ」によって左右に振り分けられる、いわゆる音形の選別がなされるものと、これに対して左右の大脳半球を結ぶ脳梁を介する意味レベルで働く「上位のスイッチ」によるものとがあると想定した。さらに彼は「上位のスイッチ」から「下位のスイッチ」に対して下行性に作用するものがあると推定した。このような観点から推察すると、この全体の機能の中心的役割を担っているのは一般に左脳の後言語野であり、前述のように脳幹内では聴覚伝導路を形成する聴覚線維が多くのレベルで多数交叉していることから考えて、下位の脳幹

内スイッチ機構は上位の終脳内スイッチ機構と相俟って、母音の選別、言語音と非言語音の選択を自動的に行なっていると思われる。

後述するように（４７節）幻覚や思考障害を呈する統合失調症患者の脳で、しばしば左側の側頭葉萎縮が観察されるが、秋元 (2002) によれば、側頭葉てんかんと精神症状に関する側方性 (laterality) との関連は以前からよく知られており [たとえば Flor-Henry, 1969a,b]、左側に焦点をもつ側頭葉てんかん患者は統合失調症様疾患に、焦点が右側にある場合は気分障害に結びつく可能性が高いと、論争はあるものの、説明されてきた。また、クローは大脳半球の機能分化・発達における言語の半球優位性の獲得障害ないし未発達を統合失調症の素因ないし疾病過程と結びつけて想定するという大胆な仮説を提唱している [Crow, 1996]。

能動脳と受動脳の間の分割（③の考察）

最後に、前頭葉と頭頂・側頭・後頭葉との間の解離 / 離断、すなわち、大脳皮質機能の前後間の split について述べる。近年イングヴァールらによって開発された脳局所血流 (rCBF) の研究 [Ingvar　et al., 1974] によって、慢性統合失調症でこの問題が調べられた。それによると、脳血流量が前頭連合野では正常脳で調べた平均値より少なく、頭頂・側頭連合野では逆に多いことがあきらかにされている。局所血流量の変化（増減）が、代謝レベルひいては機能レベルの活動を反映すると考えると、統合失調症者では、前連合野の機能が低下し、後連合野の機能が比較的に亢進しているのではないか、とは言えないまでも何か正常と異なる「興奮」又は / および「抑制」過程が存在している可能性が想定される。この前連合野と後連合野とくに側頭連合野とを結ぶ連合線維（鈎状束、uncinate fasciculus）が統合失調症患者の脳で発達低下 (lower anisotropic diffusion、拡散異方性異常) が認められることも、核磁気拡散テンソル画像 (Magnetic Resonance Diffusion Tensor Imaging、MRDTI) という白質（神経軸索束）の形成・発達程度を濃度で表示して調べる（物質に含まれる自由水プロトンのブラウン運動を検出・画像化する）最新の磁気共鳴画像解析装置によって明らかにされている [Catani et al., 2002, 2003; Kubicki et al.,2002]。

精神医学的考察

上に神経科学的に考察してきた①、②、③の３種の機能的離断（split）が生じたときにどのような臨床像が見られるであろうか。①の皮質・皮質下が離断されたときは、皮質からの抑制のきかない情動系の障害で能動的には統一がきかない、定型的、反射的、衝動的な面が現れてくるであろう。②の両大脳半球間の離断としては、言語系と非言語系の情報の交換処理がうまくいかなくなると言葉や思考の連合弛緩や奔逸が見られ、認知の概念化が傷害されるであろう。③の前頭葉と頭頂・側頭・後頭葉間の離断では、能動性障害、自閉性、意欲減退などの徴候と結びついているであろう。臺 (1979) がくりかえし指摘しているように、統合失調症（＝精神分裂病）の精神は機能的にも常に離断しているわけではなく、今後解明されるであろう原因によって、時々機能的な意味で離断ないし切断が起こり、その結果として「現実離れ」した症状が表面化することがあるものである。側脳室の拡大や内側側頭葉の萎縮が認められるケースもあるが、決して脳組織に穴があいているとか、広範に組織が破壊されているという類の、ましてや遺伝的にのみ規定されているような " 恐ろしい "" 狂った " 病気ではない。治療により、良くなる疾患である。治癒不能であるなどと世間の素人を相手に信じこませるような俗説に惑わされてはならない。

従来、言語機能を限られた特定域の皮質活動として解釈しようとしたり、また片側半球だけで（とくに右半球について）意識を持っているか否かというような議論があるが、元来人間の意識や言語活動というものは、空間認知、自我の存在の認識、概念の抽象化などを包含した社会的 (communicative/geselig) で全体的なものであり、最近の fMRI の研究 [Gold and Buckner, 2002 ; Kaan and Swaab、2002] からも、これら高次の認知 / 認識は神経回路をベースとした系統（システム）的見方が重視されるべきことが提起されていることを付言しておきたい。人間の尊厳に関わる事柄については慎重であらねばならない。

44 節　統合失調症の動物モデル

ドーパミン受容体の過敏状態の形成

ラットにアンフェタミンやメトアンフェタミンを注射して実験的に統合失調症類似の症状を呈するモデル動物を作成することが行なわれてきた [Utena, 1961]。大量の薬物の投与を受けた動物（ラット）はアンフェタミン常同症と称される咬み、嘗め、嗅ぎなどの常同行動を反復して現わし（他の行動は抑えられてしまう）、また、これらの動物は薬物を反復投与すると少量であっても常同症が起こりやすくなる。サルにメトアンフェタミンを

長期に少量投与したときには、「のぞき」や「体いじり」などの異常行動と共に " 自閉症 " を思わせる社会行動の減少が現れる。生物学的には共通の受容体（レセプター）の関与、すなわち、ドーパミン受容体の過敏状態が形成されたと考えられた。薬理学的に薬物耐性の反対の現象という意味で「逆耐性現象」という呼称が使われているが、これは、臺が統合失調症と中枢刺激剤（慢性覚醒剤）中毒による精神病との再発機制の酷似や、再発のし易さなどの症状を以前に経験したという生活史がその後の病状を準備するようになったという意味で提唱した、行動学的レベルの概念である「履歴現象」という言葉と深く関連するものである [臺、1979]。この言葉はいわゆる「易再発長期記憶」と結びつけることを可能にするもので、その先見性に思いを致すべきである。

現在は、以下のことが常識として " 一応 " 理解されている。すなわち、アンフェタミンは過剰ドーパミンの作用と同様に（アゴニスト）、ドーパミンの受容体を刺激し、過敏な状態にする。統合失調症患者の陽性症状を軽減するクロルプロマジン系の薬物は、ドーパミン受容体の遮断薬（ブロッカー、アンタゴニスト）として作用し、その投与によってこれらの実験モデル動物の症状も緩和される。

最近西川らによって、この統合失調症の実験モデルを作成する際に、薬物投与をうける動物の年齢（時期）と薬物への依存性が検討された。その結果、まさにヒトの思春期に相当すると考えられる生後３週（をやや過ぎた）位のげっ歯類（マウスやラット）に薬物が投与された時、動物は統合失調症様症状（異常行動など）が誘発されやすくなることが示された [西川ら、1997, 2000, 2002]。以下にそれらの研究を紹介する。

ドーパミン神経伝達の亢進（陽性症状）とグルタミン酸神経伝達の低下（陰性症状）

複雑多岐にわたる統合失調症の症状は、幻覚、妄想、思考障害などを主体とする陽性（もしくは産出性）症状と、自閉、会話の貧困化、感情平板化、意欲の減退などを主体とする陰性（もしくは欠陥性）症状の２群に分けられる [Crow, 1980：統合失調症をこの症状の有無に基づいて I 型と II 型に分けることを提案した、いわゆる２症候群仮説で、この陽性、陰性の呼称は明らかにジャクソンの影響をうけている]。病態生理学的観点から、陽性症状は脳内ドーパミン神経伝達の亢進、つまり D2, D4 受容体の過敏性反応（hypersensitivity）が、陰性症状は NMDA(N-methyl-D-aspartate) 受容体の低感受性となるグルタミン酸神経伝達の低下が関与すると考えられている。

統合失調症の神経発達障害仮説

なお、統合失調症の病因として、脳の器質的変化、すなわち形態学的ならびに組織病理学的変化が最近数多く報告されており、その内で、神経発達障害仮説が提唱され、胎生期に始まり、生後から思春期、青年期に至る異常遺伝子の発現、様々な要因によるストレスの液性伝達機構を介した影響などを含む神経発達過程における障害が考えられている。実験統合失調症モデル動物を作成する方法として、統合失調症様症状発現薬のうち、覚醒剤であるメトアンフェタミンなどのアンフェタミン類やコカインは抗精神病薬反応性の陽性症状を発現させる。他方、フェンサイクリジン (PCP) をはじめとする NMDA 型グルタミン酸受容体 (NMDA 受容体) 遮断薬は抗精神病薬に抵抗性の陰性症状をも（陽性症状と共に）引き起こす。また、実験動物ではこのような薬物を投与することによって生じる行動ならびに分子生物学的変化が、その発達段階によって大きく変化することが判っている。たとえば、幼若期（生後 1 ～ 20 日）のラットでは生後 25 日以降の成熟期とは異なり、メトアンフェタミンによる逆耐性現象が生じない。

発達依存的に抗精神病薬に応答する遺伝子の検索

このような事実をふまえて、西川らはメトアンフェタミンに対して発達依存的で抗精神病薬によって抑制される応答性をもつ遺伝子を検索した。統合失調症の多くが、脳が成熟する思春期以降に発症するという臨床的事実と上記の「思春期」動物を対象とした実験の結果を勘案して、統合失調症では脳内のある種の情報システム系になんらかの障害が起きていると考えた。この情報システム系を支えるものは、ある一定の神経回路（網）の活動に他ならない。このシステムないし神経回路は幼児期から思春期にかけて脳が発達する時期に一致して発達し、成熟を遂げるという事象に関連すると考えられる。彼らは、ラットにメトアンフェタミンを急性投与した際に指標として発現誘導せしめた転写制御因子をコードする最初期遺伝子の一つである c-fos の脳内における発現パタンが、幼若期と成熟期で異なることを見い出した。とくにその発現様式が大脳皮質および線条体で大きく異なっていた。

このことは大脳皮質と線条体が行動感作のシステムに関係が深いことを示唆している。このようにして行動感作成立後の臨界期以後にメトアンフェタミンに応答し、逆耐性現象に深く関与する遺伝子群を検出し、クローニ

ングし、選択し、それらの候補遺伝子の全構造を決定した。西川らはこの発現が増加すると考えられる新規の遺伝子転写産物を methamphetamine-responsive transcript 1 (mrt 1), mrt 2 および mrt 3　と名づけた。現在 mrt 1 を解析中で、これから特異的抗体を作製し、それらの抗体を使って Mrt 1 蛋白の脳内局在の分布を調べた。その結果 Mrt 1 蛋白の 1 つのイソフォームは脳内のシナプトゾームに多く存在し、これが成熟期に覚醒剤に応答する mrt 1mRNA の翻訳産物であることを明らかにした (Kajii et al., 2003 ; Fujiyama et al.,2003)。

これに加えて、西川らはごく最近、発達依存的にフェンサイクリジンに応答を示す遺伝子群 prt1(PCP-responsive transcript 1) をクローニングしており、さらにメトアンフェタミン応答性の mrt 遺伝子と共にヒト相同遺伝子をも同定しているので、今後これらの遺伝子の変異と精神疾患との関連が究明されることへの期待は大きい。

先にグルタミン酸 NMDA 受容体の遮断薬（フェンサイクリジンやケタミンなど）が動物に統合失調症様（陰性および陽性）症状を引き起こすことを述べたが、この統合失調症モデル動物実験を行なう中で、西川らは NMDA 受容体の機能を上げるグリシン調節部位に結合して強い作用を示す D 体のアミノ酸、D セリンが脳内、とくに大脳皮質、線条体、海馬などに多く内在性の物質として選択的に存在していることを明らかにした。この物質は生体内で L セリンからラセマーゼ（ラセミ化酵素）の働きによってラセミ化されるが、おそらくグリア細胞から放出されるもので NMDA 受容体、とくにサブユニット NR2B と分布が酷似していることから、この内在性物質である D セリンは皮質・線条体系回路内の NMDA 受容体を調節していると考えられる (Tsuchida et al., 2001)。

臨床精神医学―ヒトの高次神経活動とその異常（とくに精神病）の治療に関して

精神医学の分野において、今後、①精神活動と高次神経活動との関係、②伝達物質や受容体と遺伝子レベルの解析、③発生と再生（ないし可塑性）と広義の記憶（疾病の再燃 / 再発を含む）を視野に入れた（新しい次元の分子）生物学、④神経組織や神経回路の形成など多次元レベルでの統一、⑤脳の正常発達とその障害が現わす精神異常を包括する高次神経心理学、等々、を幅広い視点から総合的に捉えた研究の進展が望まれる。とくに精神的に向上する過程に組み込まれている脳内機構を支える神経回路（網）　―このなかに記憶、情動、意欲に関わる Papez 回路、Yakovlev 回路や、認識や能動的発現に関わる皮質レベルを結ぶ背側経路や腹側経路なども含まれ、相互に関与する―　が同じ思春期に成熟発達をとげるということは非常に示唆に富む事実であり、これを結びつける形で、発展性ある見解に到達できればと考える。幼児期，児童期，思春期、成人期へと発達、成熟する脳内機構としては、ニューロンの突起、とくに樹状突起の著しい発達、髄鞘形成（神経膠細胞とくに希突起膠細胞の発育）などにみられる遺伝子発現に依拠した内的要因や、条件反射第二信号系に基づく言語機構と家庭内および社会における共同作業、知的および情操教育などさまざまな環境要因が相俟って、種々のタイプの " 神経回路網 " が機能的に活性化され強化される。これらがヒトの高次神経活動すなわち精神活動を支えるものであろう。

このように " 神経回路網 " が条件反射機構に基づいて知育、徳育、体育、情育と多面的に教育される過程で、適切な時期に脳組織を構成する物質の発達に関連する遺伝子が発現し、酵素、栄養因子、構成蛋白などの必要な蛋白分子が正しく形成されることによって、物質的基盤

注] : 統合失調症に対する治療法の一つに、従来のショック療法や持続睡眠療法に代わる本格的な薬物療法として、1952 年にクロールプロマジンが登場した。このドーパミン受容体遮断作用による効果、すなわち抗幻覚妄想作用を主たる特徴とする「従来型」抗精神病薬は後に定型抗精神病薬 (typical antipsychotics) と称される薬物であるが、1980 年代後半まで続いた。これらの定型抗精神病薬は、いわゆる陰性症状に対して治療抵抗性があり、振戦、パーキンソン様症状、口渇などの錐体外路症状をはじめとする各種の副作用を多くの場合伴うものであった。次いで登場したのはドーパミン（D2）とセロトニン（5 － HT2A）の両種受容体を遮断する SDA(serotonin-dopamine antagonist) 薬であった。1959 年にはハロペリドール (haloperidol) が開発され、1996 年にはリスペリドン (risperidone) が臨床医学に導入された。以来、欧米では医薬品として許可され、使用されていたクロザピン（clozapine）をプロトタイプとする、ペロスピロン (perospirone)、クエチアピン (quetiapine)、オランザピン (olanzapine) などの新薬がわが国でも 2001 年に相次いで発売され、臨床に供されるようになった。これらは非定型抗精神病薬 (atypical antipsychotics)、あるいは第二世代抗精神病薬（second-generation antipsychotics）と称されて、錐体外路症状 (EPS) や高プロラクチン (PRL) 血症などの副作用が少なく陰性症状にも有効であるという鳴り物入りの登場であった。受容体結合占有率ではドーパミンやセロトニンのように高くはないが、ムスカリン性アセチルコリン (mAch)、アドレナリン、ヒスタミンなど複数の神経伝達物質受容体に親和性を持ち、これらを介する相互作用を重視するマルチ受容体仮説に基づく、multi-acting な効果を及ぼすとされる薬 (Multi-Acting Receptor-Targeted Antipsychotics, MARTA) であった。mAch 受容体（5 種類ある）に対する薬物の効果についてはこれまでの関心は高くなかったが、この受容体が豊富に存在する海馬や新皮質の萎縮が老人性痴呆と共に統合失調症にもしばしば認められることから推量して、認知機能や意欲の改善を目指すという薬物治療の開拓面からも、もっと積極的なアプローチが求められてよいと思われる。

が整い、液性伝達系と神経伝導系が動的に共生 (cohabit) する。人間の精神発達、とくに芸術、学問における創造活動は、これを基にした脳の能動的活動に他ならない。上述の高次神経活動の異常に関しても近い将来にその原因が解明されることが期待される。如何なる風にか生じるなんらかの理由により異常をきたし、「偏った」もしくは「気が違った」状態になったときに精神の異常をわれわれは観察する。精神異常者、とくに統合失調症において、妄想知覚や幻聴などの認知障害、思考障害がいかにどのような形で、起こるのであろうか。以下に改めて考えてみることにする。

素人目にみても統合失調症者の場合、脊髄、脳幹レベルの上行性伝導路システムや大脳皮質の視覚領 (V1)、聴覚領 (A1) などの第一（次）感覚野の障害ではなく、連合野の障害であることは確かなように思われる。果して本当にそうであろうか？難しい問題であるが、いまこれを感覚知覚作用の認知障害としてみた場合、統合失調症者に、視覚性刺激にしろ、聴覚性刺激にしろ、外界から入力される刺激をパタン化して、ゲシュタルト的に対象を捉えることになんらかの障害が生じることがあると考えられる。外界刺激を知覚するとき、ヒトの脳はその入力を感知し、入力された刺激の性状もしくは意味を価値判断し、条件反射により得られたこれまでの痕跡である以前の記憶との照合の中で、その刺激を、既に獲得されている知の体系の中に位置づけ認識する。

人間は何か或る事象を認識するとき、種々の部分から構成されるこの事象、つまり言を換えればば外界からの刺激をこのようにパタン化もしくは類型化して、把握しようとする。パタン化、類型化は、いま認知されつつある新たな刺激、新たな事象の全体化として捉えられる。つまり新たな刺激である当の事象をひとつの「個」として眺めた場合に、それが類との対応の中で「概念」という類の「全体」へと組み込まれていく過程として、つまり「個」と「全体」、「個」と「概念」の関係としてヒトの脳の認知作用は捉えられることになるのである。精神医学において問題となる認知障害については次章で取り扱われる。

45 節　統合失調症にみられる「ファントム理論」と症状形成機構

「パタンの逆転」（安永）

安永 (1972, 1974, 1987) によれば、健常者のもつ認識のパタン原則：A ≧ B が、統合失調症者ではひっくり返っており、病者が自ら述べる体験は、あたかも A ＜ B と描き得るその逆転を示しているかのようだと言う。いわゆる「パタンの逆転」の理論である。ここで言う「パタン」とは安永がウオーコップ (1948) から得たかなり大規模な含みのある概念であり、要約すると生体に意味のある表象の「カタチ」、すなわち体験的世界の描写に用いられる、相互に対応し合う基本的対（つい）カテゴリーとされる自↔他、質↔量、部分↔全体、因↔果、統一↔差別、生↔死などが瞬間に成立するものとされている。これらの間には共通の「論理的対称的・非対称的」な対応がある。A → B の場合には A は B に対して論理的に優位にある。つまり、A を体験了解の出発点とすれば、B は A ではないということで、論理的に理解される。たとえば「自」は体験了解にとって原理的出発点であり、「自」から出発すれば「他」とは「自でない」ということで理解される。この A → B で表わされる A の B に対する優位性が統合失調症体験というようなことで逆転する事態となったときには、その主体の論理においても A、B 間の優位性は逆転せざるを得ない。健常者にみられるこの A → B 構造のパタンが統合失調症者では異なっており、B → A 構造の如くパタンに逆転があり、しかも、それが意識されることなく活動が起こされると説明される。健常者には追体験できない逆説的な体験である。

このように安永は「論理的優位性」をそのまま「具体的実存様式における優位性」に対応すると考えたのである。外界の物理的刺激量と生体がそれを受容する際の生理学的閾値との間には一定の比例定数を介した関係があるが、安永によれば、統合失調症では疾患過程によりこの比例定数が変化し、またその変化したことを統合失調症者は自覚していないとされる。統合失調症の症状は、このような状況において統合失調症者がなお病前に保持していた比例定数で発症後の体験を評価し続けることによる一種の錯覚として捉えられている。この状態では、主体的能動性が外来性優位・主体性従属の知覚・認知の作用機構へと瞬時的に変質されているとみなされる。すなわち、統合失調症者の知覚は健常者のそれが A → B 構造とすれば、B → A 構造になるというように体験の原則であるところの「パタンの逆転」が起こっているというのが安永によって提唱された「ファントム理論ないし仮説」である。

受動的体制化と能動的体制化（鹿島）

以上とも関連して、統合失調症における症状、とくに「自－他」の形成機構について、前田と鹿島（2003）は神経心理学的考察を加えた。彼らは高次視知覚検査法（グラフィック・ロールシャッハ・テスト―慶應法）なるも

のを考案して調べた結果、知覚を体系化し、対象の意味するところを分析・総合する過程の中で、「能動的な認知的制御」なるものを重要視した。そして、対象を能動的かつ主体的に捉えることの条件として、２つの「top down control」、すなわち能動的変換 (active shifting or switching) と能動的分節化 (active segmentation) が充分に機能していることと考えた。以下に彼らの見解をそのまま引用して示す。

『統合失調症において、前述の能動的な認知的制御が動的な機能不全状態にあれば、能動的に「全体」－「部分」関係を体制化することは困難となり、能動的体制化 (active [top down] organization) を諦め、やむをえず受動的体制化 (passive [bottom up] organization) に身を委ねて刺激拘束的な 'data-dominated response' とするか、あるいは、あくまでも能動性を堅持しようとして能動的体制化を病的に肥大させて、能動性については安全性が高いが刺激をほとんど無視した 'concept-dominated response' とするしかないであろう。このようにして体制化された新たなアスペクトは異常なものであり、他者との共有は困難であることは言うまでもない。』

『統合失調症において、能動的な認知的制御が動的な機能不全状態にあれば、能動的体制化を病的に肥大させて機能させている場合、いったんは、より「表象的な」アスペクトを想起するものの、能動性が不安定であるために、主観的体験としてはアスペクトに伴う「自」－「他」帰属性に関する感じが変化し、「他」性を帯びるようになる。結果、思ったそばから思ったように世界が彩られてゆくという特異な体験（妄想知覚）となっているものと「了解」される。安永（1979）が言うように、「表象」が「知覚」化してしまうということである（「表象」の擬「知覚」化）。一方、能動的体制化を諦めて、あえて受動的体制化に身を委ねて居る場合には、主体の自由意志の下に知覚することは不可能で、他ならぬ「私」が「対象」を知覚しているという実感はなくなってしまっているものと「了解」される（この時点で、もはや知覚体験とはいえない）。体験には「自」－「他」帰属性という属性自体がなくなってしまっており、「自」－「他」未文節の一なる体験となっている。これは、まさに ' 離人症 ' 状態といえる。いずれにしても、他者とのアスペクトの共有は叶わず一人異質な世界に住まうことになるであろう。以上のように、能動的な認知的制御の動的な機能不全状態から統合失調症の病的体験についても「了解」可能となる。』

46 節　統合失調症者において「瞬間意識」内に起こる現象（臺）

統合失調症患者の言動にみられる 25 ～ 50 ミリ秒の遅れに注目

一方、実証的アプローチの仕方で臺らは、日常の臨床に応用できるものとして臺自身が開発した「簡易精神機能テスト」の中の物差し落としによる単純反応時間検査で、統合失調症患者の行動や言葉に対照正常者の平均から 5 － 10 cm (25 － 50 msec) 遅い一瞬の遅れ、もたつき、が認められることを見い出し、これに注目した [Utena, 1998, 2000, 2002a; 臺と斉藤、2002b]。そして以下のように考察した。

「瞬間意識」― 時間に依存する運動と知覚

①ゲシュタルト心理学の仮現運動視（apparent motion; Wertheimer）、すなわち TV や映画の 1 コマの送り（フレーム）時間が 1 ／ 25 － 30 秒（33 － 40 msec）であることや、② flicker fusion の閾値が約 50 msec であり、また　③ Efron(1973) の色彩融合テスト、すなわち赤と緑の閃光を（同時および 20 msec 以下の）一定時間の間隔で連続した場合に黄色と知覚されることや、④ Michotte(1963) の「因果性の知覚」実験、すなわち 2 点が無関係に運動し接触するとき、（一方が他方を押し出すと感じられるように）互いに因果関係があるように知覚されるのは、いずれも時間閾値が 50 msec 以内のでき事である、などを傍証的事実として考えると、時間意識の認識に要する時間は量子的で、その単位は 25 ～ 50 msec であるらしいというのである。臺はこのように認識を時間に関連づけてその様態を捉えた場合、認識は単位的であるとして、時間に依存する運動と知覚を合わせて、これを「瞬間意識」（moment consciousness）と名づけ、神経心理学的ならびに精神病理学的に重要な解釈と意味づけを行なった。すなわち、統合失調症にみられる妄想知覚や幻聴などの体験がこの 25 － 50 msec という「瞬間意識」内に起こる現象とみなされると考えた。さらに統合失調症者に起こるバウム・テストの際のゲシュタルト崩壊や、精神生理実験で知覚入力の関門濾過（sensory gating フィルター）機能の障害が、どれも 50 msec 以内の「瞬間意識」の中に成立する現象であることに注目し、その解析には「脳と心の相関」の研究が不可欠であると指摘した。その機能障害として、①プレパルス・インヒビション（ prepulse inhibition）、すなわち後発刺激の事象関連電位の p50 成分（50 msec 陽性波）に対する抑制 の欠落ないし不全（P50 抑制不全）、

および ② 逆行性マスキング / 視覚マスキング（backward masking、Breitmeyer, 1984）、すなわち 2 つの連発刺激における、後発刺激による先発刺激への逆向き抑制の過剰などが知られている。

霊長類の視覚系における刺激伝達時間

現段階でその精神生理を解析することは極めて困難であるが、霊長類の視覚系における形象のカテゴリー化が如何に進行するかについては、調べられている [Freedman et al., 2001]。その興奮伝達時間は、網膜（20 － 40 msec）、V1(40 － 60 msec)、V4(60 － 80 msec)、下側頭葉前部 (AIT, 80 － 100 msec)、前頭前野 (PFC, 100 － 130 msec)、一次運動野 (140 － 190 msec) と推定されている [Thorpe and Fabre-Thorpe, 2001]。聴覚系伝達についてはデータが不足しているが、視覚刺激伝達時間を確たる証拠が乏しいままに概略を独自に試算してみると以下のようになる。

すなわち、一発の視覚刺激（インパルス）が網膜から第一視覚皮質 (V1) に伝わるまで 4 ～ 6 msec の時間を要する。また、網膜内で光が伝達可能な電位をもった電気信号（情報）として変換されるには約 10 msec を要する。電気信号が 1 シナプスを超えるえる時間を約 1 msec として、一発の電気刺激が網膜から後連合野皮質のほぼ全体に広がるまでのおおよその時間は 15 ～ 20 msec と推定される。しかし、単発の視覚刺激では知覚にはおそらく上らない。知覚 (perception) 機能が成立するためには、1 秒間に 200 発の刺激頻度をもつ視覚性電気刺激（従って各刺激間隔は 5 msec）が少なくとも 10 発程度は皮質に到達することが必要であろう。とすると、それに要する時間は大雑把に計算して 60 ～ 70 msec となる。すなわち、この時間が「物を見てから形象を知覚し判断する」に要する最小の時間と考えてよいかと思われる。時間意識の認識が量子的で、しかもその単位が 25 ～ 50 msec らしいとすると、1 ～ 1.5 単位の瞬間意識内に知覚の形成、持続、検証、崩壊などの事象が連続的に生起し、この間にパタン認識が行なわれると推定される。複雑な脳内回路を信号が伝達されるに要する時間は単にシナプス間の電気・化学物質の変換だけでなく、信号を受け取るニューロン（postsynaptic neuron）の膜電位の状態、シナプス間隙に放出される化学伝達物質の量、受容体の感受性、神経細胞間の機能的結合状態等々に左右される。

細胞内情報伝達をも含めたこれらの総体 (total sum) としての瞬間意識を支える精神機構を解くには、それらが時間経過と共にどの機能亜域で起こる事象なのかを可視化して観察できる fMRI や PET を用いた更なる解明が期待される。ここで思い起こされるのが、サルの前頭前野ではニューロンの多くが色や形のような物理的視覚刺激を与えられた後に 100 msec 前後にその発火活動が変化するという知見、つまり、前頭前野ニューロンの特徴として注意の文脈の変化に応じて同じ視覚刺激に対する応答が逆転するという坂上らの研究 (1999a,b) である（前述、8 節）。これは統合失調症者にみられる認知的制御 (cognitive control) の障害により、側頭・頭頂連合野から前頭前野への入力情報を文脈処理 (context processing) することが困難であるという能動性障害として説明されよう (Servan-Schrei ら、1996; 加藤と鹿島、2002)。ここであらためて、後連合野から前頭前野への腹側および背側経路を通る皮質間結合線維による伝達時間を上述の推測を基に計算してみると、単純に引き算をしてみると、100 － (60 ～ 70)=30 ～ 40 msec となり、これまた臺によって注目され、提唱された「瞬間意識」の時間単位（25 － 50 msec）と一致する。これが色や形（shape, form, Gestalt）から意味への変換 / 転換に要する最小の時間、別言すればゲシュタルト認知に関連する意味の表象を成立させる過程に必要な時間、と考えられる。広く大脳皮質脳波上に現れる γ -oscillation (通常 25-45 Hz、ただし 40Hz 以上を gamma band ということも多い) も、数十 msec の時間に生起する生理的現象で、この刺激－反応を媒介する脳内機構の成立過程に関連することも推量されている [Clemenz et al., 1997; Green et al., 1999; Keil et al., 1999]。

「瞬間意識」の精神生理学的考察

統合失調症者の認知障害として知覚関門障害（sensory gating deficit）や逆向き抑制（= 逆行性マスキング、backward masking）の過剰が知られているが（上述）、いずれも 50 msec 内に生ずる現象である。また、統合失調症者の逆行性マスキングの研究で患者は標的刺激を見分けるために、標的刺激とマスク刺激の間により長い刺激間隔を要することから、情報処理の遅延があるのではないかと考えられている [Braff, 1981]。最近、臺、斎藤らは、統合失調症者と健常者を対象に瞬間意識内のでき事を観測する仮説検証の「瞬間色覚テスト」（momentary color vision test）と称するエフロンの色彩融合テストに

注] prepulse inhibition：たとえば、音刺激に対する驚愕反応が刺激の直前に小さな音刺激を与えることにより大幅に抑制される現象であるが、ラットにおける実験結果（Bickford-Wimer et al., 1990）から、内側中隔核のコリン作動性ニューロン→ GABA 作動性介在ニューロン→海馬歯状回錐体細胞と経由する抑制効果と推察される。

倣った実験を行なった [Saitoh et al.,2002]。すなわち、赤と緑の連続フラッシュを 5 － 100 msec と間隔を変えて与えたときどのように知覚されるかを調べた。その結果以下のような注目すべき成果を得た。すなわち、統合失調症患者群では健常者群と比べて色彩融合が起こるまでに統計的に有意に時間の遅延が認められ、またフラッシュ を 40 － 60 msec 連続の間隔で与えたときのみ両者間で色覚認知に差異が認められた。すなわち、健常者では色彩融合現象の結果、黄と知覚されたのに対して、統合失調症者では色彩融合現象が見られずに緑と知覚されたのである。

この所見は少なくとも色彩融合の知覚現象の場合、ある特定の瞬間意識内において、統合失調症者と健常者とでは異なる知覚ないし時間体験が生じ、その結果、両者間に明らかな deviation/bias が成立したと考えられる。このことは、また、統合失調症者で瞬間意識内において逆行性マスキング（逆向き抑制）が強化されていることを示唆している。以上の考察から、この色彩認知の場としては、色選択性ニューロンが多く存在する V4 野 [Zeki, 1984] から側頭葉前方域を経て腹外側前頭前野（VLPFC）に至る間に生起する事象であると思われるが､霊長類（サル）の網膜や外側膝状体、さらには第一視覚野 (V1 野) にも色彩－輝明調節細胞（color-luminance cells）の存在が明らかにされているので [Johnson et al.,2001]、必ずしも前頭前野の関与を必要としないのかもしれない。ともあれ、皮質連合野レベルが深く関与するであろうことは容易に推量され、臺と斎藤 (2002b) が指摘するように、統合失調症者における、健常者のそれとは異なる、認識の過程、もしくは認識活動中にフラッシュされる特異な認識構造が見い出された。この「異」構造を「正常化」（normalize）することは統合失調症治療の一つの目標となるのではなかろうか。臺らの瞬間意識の仮説提唱は彼ら自身によって検証されつつあるが [Saitoh ら、2002]、この仮説の真髄は､斎藤（2001）が指摘しているように、『瞬間意識の量子的性格の認識を通じて、（この瞬間における意識が）構造的には「部分の中に全体が自己相似的に入っているフラクタル構造」であること、機能的には＜カタチ＞→意味または知覚→表象の生成にかかわる時間単位的過程であることを指摘し、瞬間意識内には、統合失調症の場合、体験症状の成因となる機制を説明する安永の「パタン逆転」（たとえば、全体→部分）を生ぜしめる「ファントム空間」的機能が一定の時間的制約を持って存在する可能性を明らかにしたことである。』

「妄想・幻覚」状態の脳内機制（仮説）

正常な脳髄における認識作用や思考作用とは一見異質的と見られる「幻聴」や「妄想」という統合失調症者にしばしば観察される症状はどのように解釈されるのだろうか。エスキロールの言うように「幻覚」とは全く対象のない知覚現象なのだろうか。また、思考過程に如何なる異常が生じて、どのようにして神経活動の産物としての妄想体験が起きるのだろうか。臺の「瞬間意識」の発見は統合失調症者の脳内に少なくとも一時的に生じるであろう知覚認知機構の異常さの存在を示唆している（前述）。また安永浩の「認知パタンの逆転」（前述）の仮説も幻覚妄想の脳内における発生機構の存在を強く示唆している。

臺 (2000、および私信) はフラクタル構造の式が虚数の方程式で表わされることに注目して、幻覚が現われる瞬間意識が量子的性格の認識を持ち、それを通じて「部分の中に全体が自己相似的に入っているフラクタル構造（入れ子構造）ないし図形」につながり、精神活動の初発体験や原型が感情や自他の判断などとともに込められていると考え、それを指摘した。虚数空間にエネルギーをもったフラクタルな集合である感覚情報が入ってきて、正常と異なる機能が作動し始める。虚数空間に入ってくる入力エネルギー乃至情報はその空間内で勝手に何物かを創り出して、外に出力として予想できないものを産出する。そこでは評価も判断も "imaginary" にあるだけである。この次元の中で、統合失調症の患者は時として認知機能、情動機能の乱れに基づく「精神が異常な状態」となり得る。

47 節　統合失調症についての若干の知見と考察

精神医学を神経科学と結びつける試み

統合失調症者にみられる妄想知覚や幻聴などの体験や妄想気分には、確固としたものから漠然とした、症状の軽いものまで含まれる。また、分裂気質やいわゆる健常な人にも、臺の言うこの瞬間意識内に成立し得るものがあるように思われる。後述される思春期にみられる不安定な精神発達と一脈相通じる統合失調症（様）の両価性（ambivalence）は、あえて言えば、瞬間意識内に成立する認識パタンの逆転が主観的に形成されたものと考えられないだろうか？筆者が最近経験した統合失調症者（若い女性）の症例を知・情・意の面での両価性の障害例として下に挙げておく。

１．箸をとって食べ物を口に運べばいいのだと分かっているのだが、その食べ方が分からなくて行動を起こせない。
２．哀しい、怖いという気持ちは残っているのだが、人と話もできなくて、楽しい、怒るという気持ちが湧いてこない。
３．５階のマンションの窓から飛び降りて死ななければならないと思うのだが、これは変だなと思う別の自分がいて死ねない。

このような異常体験の背景には脳の、とくに皮質レベルの認知機能の障害と辺縁系レベルの情動機能の障害が根底にあるように思われる。新皮質とくに前頭前野・側頭葉と辺縁皮質に形態ないし機能に、なんらかの異常が起こっているように思われる。
ここで後連合野からの投射を受ける前頭葉とくに前頭前野の機能について考えてみると、全体の文脈を通じて内容に即して解釈することや、能動的活動へ向かって創造的に内容が変換(conversion)されることが挙げられるが、さらに、脳の言語機能の活動と結びついて物事を概念化して理解することができるようになる機構が関係すると考えられる。この点については、これまで述べてきたように、わが国でも最先端の研究が行なわれており、これらの業績について今後とも注目し、より深く総合的に検討していく必要があると思う。

再説「前頭葉から後連合野へ」の投射の機能的意義

同時にここで、前頭葉から後連合野へのいわゆる「backward propagation/projection」の機能的意義についても考察される必要がある。サルを用いたJones　とPowell(1970)の変性法による研究や、われわれのHRP法による研究[Schiwa, 1987; Ban et al., 1991]によってこの皮質間結合の構成についてある程度は明らかにされている。そのほか、前頭前野→上側頭溝前半部→上側頭回後部領域への投射の存在を明らかにした自家所見（川村、サル未発表例：Com80、図７３左　、Com35,　図７３右　、前述12節）も印刷されずに手元にある。この腹側の経路のほかに、前頭眼野(８野)を含む前頭前野→頭頂間溝（とくにその腹側壁皮質）→上側頭回後部領域へ向かう背側経路の存在も明らかにされている[Jones and Powell,1970; 川村,1977,1985; 伴と川村,1984；Ban,1986]。

このように、前頭前野から側頭葉経由と頭頂葉経由と少なくとも２つの上側頭回後部領域への情報伝達ルートが存在する。この上側頭回後部は視・聴覚系の情報が重なり合う高次機能皮質領域で、進化論的にヒトの後言語野に発展する原始的萌芽領域に相応する部位と考察される（後述、51節　参照、川村、1977, 1988)。以下にサルにおいて見られる前連合野（＝前頭前野）と後連合野との間の連合線維結合の構成については、以前に考察し

注]：
精神分裂病（Schizophrenia）は、ごく短く言えば、「現実離れすることもある脳の病気」である。「現実離れ」は幻想にとらわれる精神病の特徴を示し、「することもある」のだから「しない時」のほうが多く、「脳の病気」と言えるのは主に薬が有効なことによる。発症には生来性と生育時の脳の脆弱性、発達移行段階の心理的・身体的な状況が関わっている。本病は青年期から成人期にかけて発病し、再発をくり返して慢性の経過をとりやすい。
急性期（再発を含めた活動期）には幻聴・妄想・思考障害などの陽性症状が現れ、薬物療法を主とする治療によって鎮静がはかられ、ストレスで誘発される再発の予防には薬の維持量投与が必要となる。
病的体験は深刻な心的刻印を残すことが多く、再発傾向を伴う不安定期が数年続いた後に、10年前後から慢性安定期に入り、ここでは無気力・無感動などの陰性症状が、生活課題の処置の拙さとともに生活障害をきたしやすい。この時期には病気と障害が併存していて、現存の薬だけでは改善が難しく、生活療法（後述）やリハビリテーションの関与が求められる。
さらに10年を経過すれば後遺期（静穏期）に移り、晩期寛解か欠陥状態への分かれ目に当たって、人生の不如意と選択への不自由を助けることが必要となる。危機に際しての治療的介入や再発予防のための長期にわたる治療継続には、薬物療法とともに患者の人生を支持し自信の回復をはかるための生活療法、精神療法、それらの拡大された形である家族・集団療法、リハビリテーション、福祉の支えの果たす役割が大きい。
精神分裂病にはこれまで、不良の予後と人格喪失の烙印が長くしみついていた。しかし薬物療法、生活療法、精神療法の三者が適時に適切な仕方で併用されるならば、今や「怖い病気」ではなくなった。発病者の半分以上は自立可能で、半自立を加えれば７割が社会で暮らせる。ただし今なお「ひどく手ごわい病気」であることには変わりがない。

出典：臺弘「精神分裂病」（日野原重明他編『今日の治療指針1995』、医学書院、1995、233～234頁所収）

１０年前に書かれた統合失調症（当時は「精神分裂病」と言われた）についての将に指針となる説得ある文章である。病院で勤務中に見い出し、再校の段階で滑り込みの挿入をお願いした。

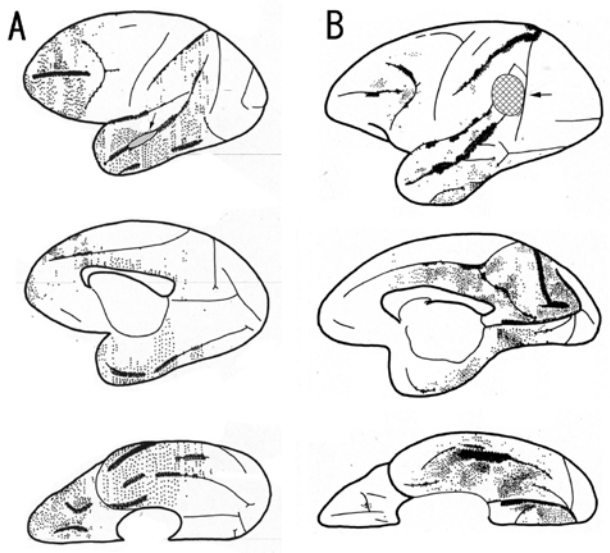
て図示（川村 ,1977 の図２と図４；川村 ,1985 の図２）してあるが、それらを参照して頂きたい（図７４）。その後の未発表の自家所見も含めてここに改めて「注」にまとめて記述しておく。　$（図７３、 図７４）

神経結合の研究の未来

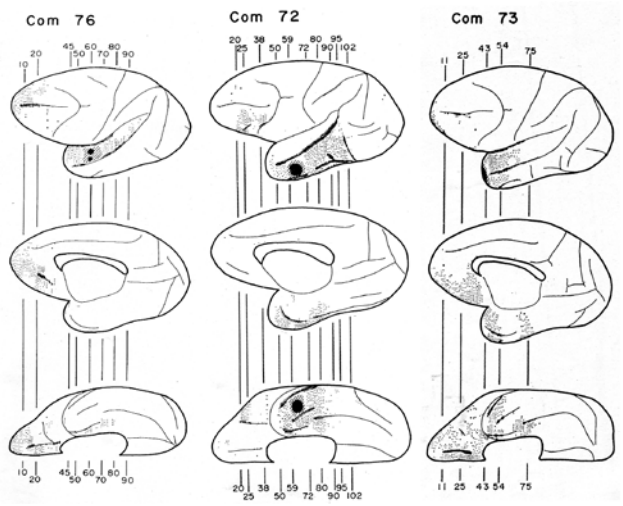
この注は多くの読者にとっては詳しすぎて退屈な記述と思われようが、今日明らかにされている大脳皮質間結合の成果に立ってサルを使用してさらに研究を発展させようとするものにとって、多くの情報を提供すると信じて未発表の所見を加えて自分（川村個人の未確信のものも実はあるのだが）で納得できる範囲でまとめたものである。さらに厳しく言えば、「A → B の結合が存在する」と言うだけの記述では、その事実に基づいて発展的に考察するためには、知識として物足りない。精神活動の重要な場である大脳皮質という意識を持って、その研究をより深く進めるためには関連する他の神経路（投射系）と量的に比較し得るように重みをつけることが必要である。それを感得し得るのは実験し標本を観察してまとめ上げた研究者のみであるかもしれない。いかなる研究においてもそうであるが、この感性を持てることが実験研究者の特権であり、これこそが脳の高次機能研究の際にはとくに貴重なものになる。今後この分野の研究において、黒い矢印の多い模式図ではなく、地味ではあっても、量的関連に留意されて、所見が慎重に記載された論文が多く生産されることが、高次神経科学と精神医学、さらには数理情報科学とを結びつける上で不可欠であろう。

意識と前頭葉ニューロン

サルにおける所見ではあるが、形象や音響に対する注視 / 傾聴（attentive consciousness）に関与するニューロン群が前頭葉の弓状溝前方の主溝を中心とした領域に存在しており [Suzuki, 1985]（前述、4 節、36 節参照）、



（図７３）図１０－４７－１：前頭葉から後連合野への「backward propagation」を示す HRP 未発表所見（A: Com80, B: Com35）



（図７４）図１０－４７－２：前頭葉から後連合野への「backward propagation」を示す HRP 所見（Com76, Com72, Com73）

注]：　I] サルの前連合野←後連合野については、一般に主溝背側部（9 野）よりも腹側部（10 野）に対してより強い求心性の投射が見られることが特徴的である。細かく言えば、① 頭頂連合野の 7 野から弓状溝付近の 6, 8 野に多く、一部 9,10 野への投射がある。　② 後頭連合野から 8 野へ投射がなされる。③ 側頭連合野からは、上側頭回（22 野 /TA 野）から主溝腹側部へ強い投射が、主溝背側部へも弱い投射が認められ、中および下側頭回（21,20 野 /TE 野）からは主溝腹側部（10 野）へのみ弱い投射が存在する。④ 一次運動野と一次感覚野（S1, V1,A1 など）からの直接的入力はみられない。⑤ 前頭葉極（12 野）は 9,10 野および側頭葉極（TG 野）からのみ直接線維を受ける。⑥ 帯状回全域から主溝およびその背側部（主として 9 野）へ強い投射が、帯状回後部（23 野）からは 8 野へのみ投射がある。

これに対して、I] と反対方向の皮質•皮質間結合である、II] 前連合野→後連合野については、サルの主たる脳溝である上側頭溝、帯状溝、頭頂間溝をとりかこむ皮質領域に、印象ではあるが強弱はこの順序で、連合線維が送られていることが特徴的である（未発表）。

この点、サルからヒトの方向に進化する段階で、大脳皮質表面積が拡大するにつれて、脳回表面皮質部位に終止する連合線維の数ないし比率が脳溝周囲皮質部位に終わるものよりも著しく大きくなるのではないかと予測される。① 前頭前野から側頭連合野への投射は側頭葉の前方部に強く、前頭葉の主溝背側部からは TA 野へ、腹側部からは TG 野、TE 野へ線維が送られており、この結合は双方向性である。② 前頭前野から頭頂連合野への投射の主たる起始領域は弓状溝近傍（6 野 ,8 野）で、①の投射に較べて弱い。その主たる終止域は頭頂間溝を含み、その腹側壁皮質の 7 野 /PG 野に多い。③ 前頭前野から上側頭溝への投射には部位局在性が認められ、6,8 野からは溝の後方部へ、10,12 野からは溝の前方部へ線維が送られている。④ 前頭前野の広範な領域から 6 野（FB,FC 野）に投射が存在するが、一次運動野や体性感覚野への投射はない。そのほか、後連合野に属してはいないが、特記しておきたいのは、⑤前頭前野の主溝背側部の広範域から帯状回の全域（23,24 野 /LC,LA 野）へかなり強力な投射が存在する。

この前頭前野の領域から少なくとも 1 つのニューロンを変えて後連合野内の言語関連領域にかなり強力な神経投射経路が存在することは改めて注目に値する。意識を集中させて情報を選択し、ワーキングメモリー機構を働かせて、視聴覚系の個々の素材（素因）を連続させて、短期記憶が消えてしまわないうちに前頭葉⇔後連合野間の神経回路を活動させ、長期記憶を新皮質から引き出して照合する。そしてそれらを意味あるものとして、まとまったもの（ゲシュタルト）として作り上げそれを認識し、理解する。

この神経回路の機能的意義については不思議なくらいに今まで注目されて来なかった。おそらくそれを研究する条件が熟せずに経過し、的確な実験的アプローチが採りかねたのであろう。しかし最近になって、前述（41 節）の如く、坂井、Passingham ら（2002, 2003）によって前連合野と後連合野との間の相互関連性に焦点を当てた生理学的研究が発表わされた。画期的な研究のスタートであり、今後のさらなる進展が望まれる。時期尚早であるとの批判もあろうが、あえて推量するに、前頭前野で「処理」された認知情報がこの経路を通って後連合野に運ばれ、たとえば音楽家や芸術家の脳髄の中で後連合野に蓄積されている「響き」や「イメージ」と称されるものと「融合」して知的な活動ないし産物を創造する上での神経基盤となる重要なものであろう。

意識された認識は言語機能領域を含めた広範な皮質連合野と扁桃体、海馬を含む大脳辺縁系、さらに自律神経系やホルモン・内分泌系の中枢である視床下部が相互的に作用して、現在の環境内の情報が評価 / 判断され、情動ないし感情に結びついて、自己中心的空間（egocentric space）の中で行なわれている。統合失調症にみられる照合障害（臺、1979,1991）は、選択的注意 (attention)、想起、連想を含む記憶（memory）、整合性ある思考、行為の企図と遂行などの障害が一時的に現われるものであり、ここで問題とされている前頭葉⇔後連合野間の神経活動相互作用の障害、すなわち機能的切断症候群であるように思われる。解剖学的には前頭葉⇔後連合野間を結ぶ両方向性の線維連絡はヒトで上縦束や鉤状束として発達しており、主な 2 つの言語野、すなわちウェルニッケ 野とブローカ野の間には機能的結合が存在することがごく最近の fMRI 研究によって明らかにされ [Hampson et al. 2002], また形態学的にも核磁気拡散テンソル画像（前出、43 節）により、線維の方向性やシナプスの有無はなお不明ではあるが、その存在が明瞭に示されている [Catani et al., 2002; Fig. 5 をみよ]。現行の総説などにこの両言語野を直接結びその経路が島域を通過する太い線維束を弓状束 (arcuate fasciculus) として記載されてあるが [Penfield and Roberts, 1959; Geschwind, 1979]、これは再検討を要する（その大部は上縦束に属する線維群と思われる）。

さらに、サルの所見からいえば、前頭葉から側頭葉への投射はその反対方向の投射に比してはるかに弱い [川村、1977]。しかし、この皮質神経路の構成はとくに注目すべきで、その起始域は主として弓状溝の前方域、主溝周囲域（主にその腹側域）で、主たる終止域は上側頭回で聴覚連合野を広く含んでおり、言語に関連する研究としても重要で、とくにヒトを対象とした画像解析は今後の進展が大いに期待される。

「側頭葉二段階発症仮説」（倉知）

一方、倉知グループ [鈴木と倉知、1997,2001；倉知、2001] の形態的画像研究によれば、上記の諸領域は統合失調症者の大脳皮質で萎縮がしばしば認められる部位に相当する。とくに彼らが指摘する関連、すなわち ① 陽性症状と両側海馬・扁桃体、② 幻聴と左側上側頭回前方部、③ 思考障害と左側上側頭回後方部、の各々の体積減少との相関が認められるという所見は注目に値する。胎生期とくにその中期以後に脳内の神経回路網の大筋は形成され、それとともにシナプス、受容体、神経伝達物質が関わる伝達機構が整えられてくるが、この時期の形態形成の異常は精神疾患の「脆弱性」（vulnerability）に深く関連するものであろう。もしも統合失調症の多くの臨床例で、高次の認知機能に関わる側頭葉や頭頂葉、とくに左側頭葉で体積減少などの形態変化が、その前駆期 / 初期段階から認められ、かつ進行している場合 (Kasai et al., 2003)、病状の悪化に伴う前頭葉（内側部の前部帯状回を含む）の能動的機能障害が漸次加わってくるのではないか。あるいは、倉知が「側頭葉二段階発症仮説」(Kurachi,2003) として提唱しているように「前部帯状回など前頭葉の変化が加わると、統合失調症への脆弱性を表わすとされる潜在的な側頭葉機能障害が臨床的に顕在化する」のであろうか？

統合失調症の発病メカニズムについては、認知・行動の異常パタンを構成する後連合野の脆弱性の上に前頭前野や辺縁系におけるドーパミンの過剰伝達が存在し、これらの領域における神経回路 / 受容体レベルを含む器質的変化が証拠づけられて（前述、44 節、西川らのモデル動物実験、参照）、神経発達障害仮説と予防的治療が結びつけられる日が遠からず訪れることを期待する。ここで、安永の「パタンの逆転」仮説と 臺の「瞬間意識」仮説を連関づけようとすれば、機能・形態的には、ウェルニッ

ケ言語野を含む聴覚連合野（および視覚連合野）の活動が、血流量の低下などにより推定される機能低下した前頭連合野からの減弱した入力に加えて、萎縮した側頭連合野の活動低下があり、その結果として、適正な判断 / 認知の機構に正常な状態では起こらない「乱れ」が生じるであろうことは容易に推察できる。以上見てきたように、現在このように、画像解析（イメージング）により、生きている脳の変化を可視化して調べられるようになり、たとえば統合失調症者の脳の萎縮や機能活動に研究が発表わされてきている。すなわち、側頭葉を含む後連合野、前頭前野、帯状回とくにその前方域の組織変化（主として萎縮あるいは体積減少）についての報告がみられるが、おそらく続いて起こる変化として、線維連絡上対応する視床枕（pulvinar）、背内側核（MD,mediodorsal）、前核（anterior）などの視床諸核にも萎縮性の変化が起こり [Young et al.,2000 ; Byne et al.,2001,2002]、これらの形態的変化は認知 / 情動、能動性 / 自発性、意欲 / 意志の発動の活動低下に結びつけられ得る。さらに時間を経た間接的な変化として小脳の半球部や虫部にも組織変化が起こるであろう。このように、大脳皮質・視床・小脳（そして大脳基底核）がセットとして関与するこの脳内のメカニズムは、研ぎ澄まされた芸術家の聴覚および視覚連合野において生起する前頭前野からの入力の受け止め方ないし機構となんらかの関連性があるように推量される。

ファウストの独白（モノローグ）

はてさて、医学も数学も哲学も、あらずもがなの神学も、額に汗して己は研究してきた。そして、解剖生理学も心理学も、あらずもがなの分子遺伝学も、暇を惜しんで首を突っ込んできた。この己がいま、異常な精神状態（の構造）に悩まされている。社会が曲がっていれば、己の脳髄の働きも基準外に評定されちゃうんだろうか。

この不自由な空間、環境（まわり）の感じが、なんとなく前と違う。他人（ヒト）の目がいやに気になる。狗までも己を変な目で追っかけまわす。付き合い下手で、己の城も脅かされ、柔らかい殻に包まれているときが気楽でいい。これが己の喜怒哀楽なのか、湧いてくる情も余所余所しい。いつもは普通に話せる相手でも、時たま敵に見えてくる。そう思う己もピカソが描いた崩れた別人のようだ。そんな瞬間を時に意識する。

専門学者の言うことは難しいが、統合失調症という病気は、己の体験から言うと、そのキーワードは２つ。①：Ambivalenz（両面価）と　②：自己感のない自己（自他の不分離現象）。愛しているのに憎らしい。好きなんだけど嫌い。よく知ってるのに何にも知らない。私の母は隣の小母さんなの。殴ろうという己と止めろと叫ぶ己。臨床精神医や脳研究者は専門用語を多用して、両面性をもった価値判断、意志決定、思考･思路などの低下と混乱、それらを統御する自我の不確立、等と概念化する。しかし、それらは決して常在する精神状態ではない。精神病者の望みは、普通の生活を不自由なく楽しみたいことに尽きる。ただ、その前に、収入ある仕事を与えて呉れる施設と住居を公的に保障してくれるよう行政がもっと力を注いで欲しい。健康で文化的な生活がしたい！

己だって、衣食が足りて、温もりのある住まいと褒美の貰える働き場所さえあれば、人並みの暮らしができるんだよ。社会復帰という夢を現実のものとしたいよ。

医療と福祉と教育と、それに患者やその家族が勇気付けられるような研究を、学者さん、官僚さん、政治家の皆さん、心から頼みますよ。

中枢神経系を３つのまとまりとして理解する

これまで①リズム／テンポ、②情動機構、③認識機構などの中枢神経系の機構について述べて来た。概念的には、先に述べた（29 節）マックリーンの① 原始爬虫類脳、② 旧哺乳類脳、③ 新哺乳類脳におおよそ相応すると言えようか。また、時実　の ① 脳幹・脊髄系（「生きている」ことを示す反射活動、調節活動を中軸とする）、② 脳辺縁系（「たくましく」生きてゆくに必要な本能行動､情動行動を駆動する）､③ 新皮質系（「うまく」､「よく」生きてゆくことに必須な適応行動、創造行動に関与する）にも対応する [時実、1969]。

この他、注目に値すると思われるものとして、ルリアによって提唱された、発達した脳は３つの基本的機能単位 (functional blocks) から形成されるとする精神活動実現に関する機能系がある [Luria, 1973]。このシステムは第一、第二、第三機能ブロック系と呼ばれるもので、各々以下のように説明される。すなわち第一は、視床、視床下部、網様体、辺縁系皮質なるシステムで上向性並びに下向性網様体賦活系の働きが下層にあり、欲求・動機・意識を支えている単位系で、第二は、後部（中心溝より後方）大脳皮質、すなわち頭頂葉、側頭葉、および後頭葉、の機能としての外界からの情報の受容・分析・貯蔵と結びついた、知識体系の基礎を作っている系で、第三は、大脳の前頭部、とりわけ、人間で著しく発達している前頭葉皮質の領域で、人間が自らの活動を意図し（意欲）、プログラムし（計画）、これを実行する（活動）のみならずプログラムに従って、今まさに実行された活動の成果を最初の意図と比較照合し、プログラムの具体化

が正確になされたか否かの価値判断を下し、場合によっては、再度プログラムを組み直すといった複雑な「計画と創造（行動）」の基礎となるプログラムとそれを具体化することに関与する系とに区別される。
以上の複数の研究者たちによって提唱されてきている３層のブロック構造ないし機能系が、神経回路網を通じて、またさらに、液性の伝達系を介して密に連携しつつ、脳全体が「ひとつの器官」として働くべく､その活動を司っている。高次神経活動すなわち人間の精神活動はこれら全体の結果として表現されるものである。この際、情動系にも、認識系にも、能動的決定の系にも、パブロフの指摘した１つの無条件反射系と第一および第二条件反射系という上記３つの条件反射系に照応した、本能から言語思考にいたるまでの「ヒエラルキー」が存在することに注目しておく必要がある。

ジャクソンの「階層理論」

さらに、精神神経医学におけるヒエラルキー (hierarchy) をなす諸機能の階層的秩序とその崩壊については、ジャクソンの「階層理論」すなわち「神経系統の進化・進展 (evolution) と解体・退行 (dissolution) の思想」がある。ジャクソンは神経系の進化を「より単純で次元の低い機能、すなわち先天的に組織化された、自動的な、" 低次の中枢 " から、より複雑で高次元の機能、すなわち後天的なものとして未組織のまま出生され、誕生後に組織化され続けることになる、随意的な、" 高次の中枢 " へと移行・発展する」ものであるとした。そして、その頂点をなすのが「精神の器官」(organ of mind)、すなわち脳または意識の身体的基盤であると考えた。反対に、その進化の過程を逆行するものとして神経系統の病的解体ないし退行を説明した。退行によって起こった上位水準の機能の欠損症状（たとえば運動麻痺や意識喪失）として「陰性症状」を、また、病的過程によって破壊をまぬがれた下位水準の機能の解放症状（たとえば異常運動や腱反射亢進）を「陽性症状」とみなし、神経学的症候の二元性 (duality) を指摘した [Jackson,1874]。ところで、単純に考えても、精神医学を神経病学に類同化させることは困難である。その上、神経病学者であったジャクソンがてんかん以外の精神病の研究を充分に行なっていたかどうか疑問が残る。とは言え、ジャクソンは慧眼を以て神経疾患と精神の病を統一した原理によって理解しようと試みた (「精神病の諸要素」1894, 参照)。チェコの精神神経学者ピック（Pick,1917）がジャクソンを精神病学におけるすばらしい思索家と称賛したことはよく知られている。

新ジャクソニズム（H. エイ）

このジャクソンの解体の概念は後世に大きな影響を与え、エー (Henri Ey, 1900 － 1977) によって新ジャクソニズム (neo － Jacksonisme) として発展された [Ey, 1975]。エーはジャクソンの神経機能の進化と解体という階層理論にフロイト (1856-1939) の力動論、ジャネ (1859-1947) の心的緊張の概念を結びつけてそれを精神医学に適用し、「器質力動論、organo-dynamisme」を展開したと言われている。エーによれば、身体と精神は異質の２つのものではなく、精神は身体を含む上位構造と考えられ、精神疾患の原因は器質的なものであり、その精神症状形成は力動的要因による。エーの器質的概念の基盤にはジャクソンの思想がある。「精神・神経機能の異常状態において、脳の最高中枢は多少とも何らかの器質的病的過程によって一過性に、あるいは持続的に機能を喪失している」とするものである。今後、脳の研究とくに高次機能の研究が進展し、精神活動の科学的解明に有効なメスが入り、児童、青年の脳の発達に適合した教育の指針が示され実行されることが望まれる。その際に知的なものだけでなく、情操もそれ以上に大切であるという認識を持つことが重要であることは勿論のことである。のみならず、このような精神機能としての脳の研究の進展が同時に芸術面での教育、芸術活動、精神医学の治療面での進展にも大きく寄与することになろう。

注] :
John Hughlings Jackson（1835 － 1911）はイギリスの神経学者で、ロンドンのてんかん者と麻痺者のための病院（Queen Square 病院、現在の国立神経科・神経外科病院）の院長で、ジャクソンてんかん (1863)、ジャクソン症状群またはジャクソン麻痺（交代麻痺）(1864 － 1872)、失認 (1866) を記載した。ジャクソン選集は 1931-32 年に弟子の Taylor によって２巻に編集され出版された。第二巻に掲載されている有名なクローン講義「神経系の進化と退化」（1884）の理論は進化論的哲学者スペンサーの影響を受けたものといわれているが、弁証法的で当時としてかなり説得力のあるものであったろう。選集は総頁数、１０００頁余の大書で、彼の論説、講演、構想、発想などが掲載されている。

第１１章　　心身問題と条件反射

第 11 章　René Descartes (1596-1650)
デカルトの処女作「音楽提要、COMPENDIUM MUSICAE、1619」から最後の作品「情念論、PASSIONS DE L'AME、1649」ーハルモニアからパッション / エモーションー まで。　この胸像はペテルスブルグ市郊外のコールトゥシュ村にあるパブロフ生理学研究所に、メンデル、ダーウィン、セーチェノフの胸像と並んで建っている。

48 節　精神か物質か

脳という物質、その機能産物の総体としての精神

自然科学者は物質からなる自然を対象として、物質の性質、合成、発展について、一面において自然の、在るがままの状態を調べ観察し、また他面においてこのような在るがままの、いわば外なる自然に内在する法則を、実験・観察のデータを基に導き出す。かつまた、こうした方法との照応の中で自然な状態に人為的な操作を加えて行なう実験の結果が自然の法則に照らしてどのようであるかを考察し、それを発表わする。その際、自分が得た所見結果を、これまでに得られている過去の知見や業績と比較・検討する。両者が合致している場合には、新しく得た結果が学問的に発展し、深化されていることを強調して公表わする。不一致の場合には、その点を再度実験などにより再検討して、確かめた内容を、過去の業績との相違点に主たる焦点をあてて、先人の仕事に正当かつ適切な敬意を払いながら主張する。そして、自然科学のその時代の到達点を踏まえて、そこにある自然の見方の核心が何であるかを究明するように努める。

物質の最高段階にまで発展した脳という集合体を対象にして、謙虚に且つ、厳格に、自然の法則に従って研究する限りにおいて、人が大きな過ちを犯し、道を踏み外すことはない。研究機器、技術が時代と共に進歩し、次々に新しい知見が導き出され、それを基にして研究対象がより明確に再考され、議論される。新しい概念・志向がこのように形成されて科学は発展する。無論そこには時代の制約もある。観測機器の開発、技術的進歩、あるいは人間そのものに対する道徳観など、歴史上の各時代には各々の歴史的条件があり、自然科学もこうした問題との対応の中で進展することになるからである。自然科学者が正しく自然の法則を捉え発見し、自然の生命、宇宙の法則を明らかにすることによって自然を守る限りにおいて自然科学は正しく発展する。自然科学は、人間もその一部に組み込まれている自然を、ひいては生命そのものを守るものでなければならない。自然科学の各研究の成果には各々に意味があり、価値がある。

にもかかわらず、自然科学は常に、或る視点から自然を眺め問題にしているのであって、その一視点からの理論によって広大な宇宙、複雑を極める自然の法則の一切が必ずしも判明するわけではない。追求して得た真実と思われる事象はその時点で常に相対的段階を進んでいる。この点を考慮して先人の業績を評価し、正しい部分を引き継ぐことは後人の義務である。それと同時に、不備な点を率直に指摘し、批判することも、たとえそれが未熟な段階の見解であったとしても、重要なことであり、任務であると考える。われわれはこのようにして、偉大な先達に支えられて新たな一歩を踏み出すべく、研究を推進させようと努力している。

弁証法的考察

科学者にとっては、自分で納得した事実に基づいた事象の上に組み立てられた見解を主張することが何よりも大切で、各自の資質を問われる事柄である。中枢神経系を形成している物質の構成、性状、変化を観察し、考察するときに、解剖・生理・生化学・分子生物・病理の各学問分野において、自然科学者が、自然に問いかけてその反響（エコー）を聞いている限り、思考の結果を発表してもその思想の内に迷ったり、誤ったりすることは大局において少ない。

端的に言えば、或るものを研究の対象とするとき、あらかじめ概念 / 観念を設定するのではなくて、自然を構成する絶えず変化し、運動する物質およびその発展段階の産物をありのままに観察し、その存在を第一義的に認めて、決して不変で静的なものとしてではなく、動的に、弁証法的に考察しその根底に潜む事実を発見して、それに基づいて科学を発展させなければならない。

ところで、人間の脳という器官における物質的営みによってもたらされる心や精神の問題になると、今日の科学技術の方法をもってしてもなお実験によって検証し得ない上に、心や精神とは何かを定義するとしても、その人の哲学ないし世界観によっても異なることから、話はそう簡単にはいかない。ただし、人間の精神活動は言語機能と深い関連を持っている。この点、とくに注意を払って考察することによって心や精神を定義することはとも

かくとしても、人間の思考形態やイメージの形成、あるいは人文科学の中軸に位置する哲学にとって最重要な概念といったものがどのようにして日常的言語から抽象され形作られていくかについての検証を深めることはできる (8 節、20 節、参照、とくに先の「中間」ないし「インターフェイス」の部分)。はじめに、心や精神とは何か、という問いを発し、これについて論議していくという立場もあろうが、それとは別の方途をとって、人間が非物質的・非肉体的なものとして捉えて来た心や精神が、あるいは抽象的概念やイメージが、肉体的・物質的存在以外の何ものでもない脳の機能・活動によってどのように生じるか、ということをはじめに究めておくことも重要なことである。が、その際に、上に述べた自然の法則等の問題との関わりを改めて認識しておくことが必要で、脊髄や脳幹のレベルにはない認識、思考、判断、言語、情操、等々の高次神経機能の座である、とくにヒトの大脳皮質の高次機能を問題にするとき、偉大な先達たちの中には、舵を失ってしまう脳研究者もいた。残念なことに、著名な学者の思想を世人が無批判に受け入れてしまう傾向は強い。無理のないことではあろうが、これもまた学問の発展を妨げること甚だしいと言わざるを得ない。

49 節　シェリントンやエックルスの脳理解

心的エネルギー、第三世界への「連絡脳」

高次神経機能を脳内の神経細胞の働きとして自然科学的手法で捉えようと努力した脳外科医ペンフィールド (Penfield) や神経生理学者エックルス (Eccles) のような偉大な脳研究の先達は、晩年に心的エネルギーの存在や心的第三世界への連絡脳 (liaison brain) の存在を想定したが、科学的立場の人々から批判的に受け取られた。

今日の神経科学の研究成果は精神を脳の高次機能の所産として捉えることができる段階に踏み込んではいるが、人間の心身の構造・組成自体に二元性も浸透しており、その点からして、脳の高次神経系の働きを前提として、いま、改めて「人間」の全体をどのようなものとして捉えるべきかの問いも提出されている。

原始社会から今日に及ぶまで、人間は種々の社会条件、自然科学や人文科学の学問的・思想的条件の中で人間を見つめて来たのであり、とくにルネサンスにおいて大きく変化した自然科学的条件を視野に人間が人間を見つめてきた歴史を批判的に受容することが重要であろう。無論、現代の目からすれば、徒に二元論的に心身問題を解決しようとしたこと、あるいはすることには改めて批判・疑問は提されねばならないにせよ、日本や東洋に著しい、人間を自然の体系に融和した有機的全体として眺めることに親しんでいる思考法とは異なって、古代ギリシア以来のイデア論とキリスト教的倫理思想に立って人間の肉体的側面を否定しようとする傾向の強い欧米の思考形態との間には、当然のことながら、「人間」を見る目の違いがあることも事実である。分離脳を用いて左脳・右脳の機能の研究を行なったスペリー (Sperry) や皮質下レベルとくに脊髄で運動制御の生理学的研究を行なったグラニット（Granit）も、精神が物質的変化をもたらすとか、脳内ニューロンは目的をもって働いているというような表現をし、晩年は唯物的に物事を論じることから離れて観念論の立場で主張したが、これも自然科学者の立つ視点、その属する世界の将しく精神構造の面から捉え直されるべき問題を含んでいる。

自然科学者が、医学・生物学的成果に基づいて脳と心の働きについて発達・進化史的に、弁証法的に問題を見るか、それとも形而上学や神学の関わりをも視野に入れて、その中から人間を眺めて脳について考察するかによって自然科学者の立場も変わって来る。ギリシア以来の哲学、それもプラトン系の哲学の中で、また西欧の精神構造そのものを作り上げたキリスト教の神学の中で、人間は神と対峙し、神に向けて創造されたと定義づけられた思想の系に立つ自然科学者にとって、脳とはそのような人間を映し出す器官であった。「脳は多数の反射を有機的に統合して複雑な運動を作り上げる作用をもっている」という理論を提唱し、近代神経生理学の基礎を築いたシェリントン (Sherrington, 1861 － 1952) はこの流れを代表わする学者で、上述（49 節）の碩学たちはこのシェリントン学派の流れを汲む人達である。

50 節　セーチェノフやパブロフの脳理解

「脳の反射」―神をも怖れぬ書物

これに対立する立場をとって、唯物論的立場から『脳の反射』(1863) を発表したのがロシアの生理学者セーチェノフ (1829 － 1905、シェリントンの 32 歳年輩) である（図７５）。ダーウィンの『種の起源』(1859) が出版されて 4 年後のことで、帝政ロシア体制下で、神に刃向かう書物として発売禁止となった。精神（プシケー）なるものは脳の機能であり、精神行為は一定の始まりと流れと終わりとを持つ過程であり運動である、と主張した当時としては大胆な革命的な思想で、しかも心理生活の諸現象に生理学的知識を適用することができることを示した説得力を持つものであった。　＄（図７５）

（図７５）図１１－５０：パブロプ生理学研究所本部内の講堂入口にあるセーチェノフの胸像。

彼は、モスクワ大学医学部卒業後に、後にパブロフの恩師となったS.P. ボトキンと一緒にフランス、ドイツに留学し、ベルナール、ミューラーおよびヘルムホルツらに学び、かれらの理論をロシアにもたらした最初の人であった。彼はクロード・ベルナールの研究室で反射運動の中枢抑制機構の実験研究を行ない、帰国後これらの実験に基づいて一つの論文を書き、それを当時広く読まれていた月刊評論雑誌「現代人」に「心理諸過程の生理学的基礎を確立する一つの試み」(An Attempt to Establish the Physiogical Basis of Psychical Processes) の標題で1862年に発表わするつもりであった。しかし、ロシア皇帝（ツアー）の検閲官に「論文のめざす目的を標題があまりにも明白に示しすぎている」という理由で拒否されたので、翌年1863年に『脳髄の反射』という題で医学専門誌に発表した。

セーチェノフの研究上の指導原理はデテルミニスム（決定論）と呼ばれるものであり、反射原理を広く捉えて脳の活動にあてはめることによって、動物およびヒトの心理活動の反射理論の発端を開き、パブロフ (1849 － 1936) の高次神経活動の学説、すなわち、条件反射学説を生み出す道をひらいた。なお、このデテルミニスムはビタリスム（生気論）に対する用語で、生物体においても無生物におけると同様、すべての現象の存在条件は絶対的に決定されていると考える立場である。

以下に高次神経活動（脳の高次機能）すなわち、精神活動を研究するに当たって現在、残念ながら必ずしも適正に評価されてはいない条件反射の有用性について考えてみる。もっとも、以下に記される事柄は、必ずしも専門的に研究しているわけではない筆者にとっても大胆な試論である。考察が表面的にならざるを得ないが、可能な限り誤りなく客観的な態度に終始したいと思う。

デカルトの自然観

歴史的にみると、脳髄における反射の概念を提唱したのはデカルトに始まると言ってよいであろう。外界の刺激が神経の興奮の伝導によって脳に達し、その結果として起こる生物体の自動的反応を彼は「反射」と名づけた。彼は、精神と物質との２つの実体があるとする二元論に立ち、動物は複雑な自動時計であるという機械論的自然観に立っていた。デカルトは動物精気という物質が脳室を満たしており、脳室の壁にある気孔を通って精気が神経の管の中へ入っていくと考えた。一方、感覚については一本の糸が感覚器官から神経管の中を通り脳まで延びていると考えていた。デカルトは新しい自然観を構築し、自然界の現象を力学的法則によって運動し続けるものと考えた。しかし、人間の精神活動に関しては自然の力学的法則に基礎をおいたデカルトの反射の概念では説明できなかった。

デカルトにとって人間と動物を区別するものは「精神」の有無であった。彼が機械と比較して論じているのは動物の身体であって（動物機械論）、言語を使用する人間だけが理性的精神（あるいは霊魂）を持っているとする「人間」に関する心身二元論が骨子である。後世の人たちの実験結果がつみ重ねられ、次第に「精神」の問題について科学的に理解されるようになるのだが、セーチェノフ、シェリントン、パブロフと辿る反射の理論の変遷については他の拙論 [川村と小幡、1998；川村、1999a] を参照されたい。ここではただ一言、以下に述べる条件反射学説が心理現象を弁証法的決定論に従って研究しかつ理解する道を開いたという事実を指摘しておく。

「不可知論」に対して

脊髄レベルの反射弓を出発点としてこれの複雑な組み合わせ、またはその総合として中枢神経系の機能を説明しようとしたシェリントン流の反射理論は、大脳皮質の

注]：セーチェノフが定義した運動とは、物体の位置の変化に限った力学的・機械論的運動ではなく、物質の質的変化や質的増減をも含めた広く変化一般を意味する、物質の普遍的な存在形態としての運動（『思想の要素』、セーチェノフ、1878）であった。

働き、すなわち、精神活動の領域においては無力であった。というより脳髄に対する思考の関与という問題は、彼の生理学的立場からすれば、「われわれはそれを知らぬであろう (ignorabimus、デュ・ボア・レーモンの用語)」という無意味にして解釈不能のものとみなされるべきものであった。シェリントンはパブロフの条件反射（理論）は「唯物論の香りがする」と言って認めようとしなかった。おそらく世界観の相異の故に理解できなかったのであろう。

条件反射（パブロフ）

パブロフが私淑した学問上の師であるセーチェノフは、著書『脳の反射』の中で「生体は環境なくして生活していくことはできない」「意識的、無意識的生活におけるあらゆる行動は、その起こり方からみて、広い意味の反射である」「感覚器の刺激感受性が停止すれば精神過程も停止するだろう」と述べている。『脳の反射』が発表わされた 1863 年を自己の研究の出発点と位置づけたパブロフは、自らの反射説の根本原理として「原因のない、動機のない、刺激のない作用は存在しない」と言っている。パブロフはいかなる神経作用、いかなる精神現象も客観的に存在する実在性を持っていて、それに対して客観的な生理学的研究の仕方を通じて、唯物的に解釈することができると考えていた。すなわち、擬人法的解釈によって真実がぼかされることなく、生物学的方法によって動物の行動を研究することを目的とした。そして、「条件反射」を個々の生活のなかで獲得された生体の反射と定義づけ、「無条件反射」を「生体が生まれつきもっている一定の反射活動」「大脳皮質と関係なしに行なわれる」「遺伝的に無条件に固定されており、生存してゆく間に、条件反射として形成されていく色々の行動反応の基礎をなすもの」と考えた。

パブロフによれば、中枢神経系内には、とくに大脳皮質の活動に関して、不断に興奮過程と抑制過程からなる複雑なモザイク状態が生じ、それらの過程が瞬間瞬間に、また部位的にも、動的（ダイナミック）に変化している。そしてこれらの神経活動は全体として興奮と抑制の両過程が一定の活動に総合されるように配置される複雑な力動系とみなされる。この際すべての刺激はこの力動系全体に多少とも影響を与えるが、全体として均一なものではなく、聴覚、視覚、体性感覚、運動などの、分析器（analyser）中枢部が区別される、局在論的なものである。とはいえ、この分析器の機能は限局的・固定的なものではなく、常に他の部分と機能的に密接な関係を持つとされる、いわば、「力動的局在論」なのである [鹿島、1980;川村、1999a、参照]。この「動的モザイク説」は、現在ヒトで調べることが可能になった脳活動画像 (brain imaging、前述、7 節) の方法によって再認識され解明が進んでいる。

51 節　サルからヒトへの進化

言語信号系とパブロフの条件反射第二信号系

改めて要約するが、条件反射には、第一（次）信号系と第二（次）信号系がある。パブロフは第二信号系を第一信号系の進化・発展したシステムとみなした。第一信号系とは、直接われわれの感覚器官（パブロフの用語では、分析器の末端部）に感ぜられる視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚、筋肉運動感覚などの「直接的な」外界刺激で、これに対して、第二信号系は、人間に固有のもので第一信号系よりはるかに複雑で、要素的な言語反応から抽象的思考までを含む生理学的機構に関するものである。

すなわち外界の客観的実在を反映する、単純な刺激である第一信号を符号化して、自身のことばを用いて「間接的に」適正に表現わする形の、新しい質を持った独特な信号の一体系である言語である。それ故に、第一信号系は感覚信号系、第二信号系は言語信号系とも呼ばれる。つまり人間の場合には第一信号系の符号である種族内の短い単語を用いて、主観的に表現わする能力を持つ状態を経て、その延長線上に新たに発達した言語信号系を持つに至るのである。

生物学的には、サルの脳からヒトの脳への発展・進化、とくに大脳新皮質の著しい発達に対応する。社会学史的には、言語が特殊な信号系として介在することによって、新しい神経活動の原理、すなわち他者との緊密な接触（コミュニケーション）が行なわれ、またこのような日常的営為（労働）との対応の中で抽象と普遍化が行なわれるようになる。このようにして、言語信号系が確立されていくのと並行して、直立歩行により自由になった、労働器官としての手が完成し、道具を作製・使用し、労働により自然に働きかけ、環境を変革し、それが社会的活動を要請し、人間社会を生み出した（Engels, 1876)。これらの点からみて、第二信号系の概念を生理学的さらに社会学的に理解することは、現在、対人関係の障害に重点が置かれている分野である精神医学において重要な意義をもっている。

人類の誕生、共同社会、言語の発生

人間の大脳皮質の機能は、その構造を反映して他の動物のそれよりも非常に複雑化され特殊化されている。従っ

て動物実験によって得られた結論を人間にあてはめるにあたり、慎重であるべきなのは当然である。大脳皮質で生じる神経活動の基本的法則にはイヌやサルなどの動物と人間に共通するものがあるが、人間の大脳皮質はより高度に組織化されている。人類が誕生する過程で共同作業を通じてコミュニケーションが成立するなかで言語が発生し、大脳皮質内で知覚・認識の領域と運動・自発的能動性の領域が互いに関連を持ちながら発達する過程の中で、人間の大脳皮質の連合野が著しく発達し、その特殊性が構成されてきた。それ故、次に、大脳皮質連合野と条件反射第二信号系としての言語野との関連についての問題が大きなテーマとなる。

サルの脳とヒトの脳を連合線維の構成から考察する

動物は外界からの感覚刺激を知覚し、認知する。皮質レベルで連合線維間のシナプスが変わるにつれて、一般に神経細胞はより巧緻に細工され、処理された情報としての刺激を受けとるようになる。サルにおいては、体性感覚、視覚、聴覚などの領野からの入力は、それぞれ体性感覚領（PC 野;3, 1, 2 野）→ PE(5 野) → PG(7 野) → 後連合野;視覚領 (OC 野;17 野) → OB(18 野) → OA 野 (19 野) →後連合野；聴覚領 (TC 野；A1: ヒト横側頭回内側部の 41 野に相応する) → A2（ヒト横側頭回外側部の 42 野に相応する）＋ TA 野 (22 野) →後連合野という図式で示されるように段階的に進行し、後連合野内の特定の領域、すなわち、上側頭溝 (superior temporal sulcus) 後部の周囲皮質 (posterior STS 域) に一定のパタンをもって集中して終わっている [Jones and Powell, 1970]。同様の集中性を持った皮質レベルの感覚刺激の伝達はネコにおいても認められ、サルの STS 域とネコの中 S 上溝 (middle suprasylvian sulcus) 周囲皮質 (MSS 域) が対応している [Kawamura, 1973a,b,c; 1977] 。サルの STS 域およびネコの MSS 域は、ともに 5，7 野の腹側，19，21 野の前方部，22 野の後背部に位置している。この皮質内の位置の関係をも考慮して両動物間の後連合野内にみられるこの特殊な部位に関して相同性 (homologue) を推論した。

このようにサルの後部 STS 域は体性感覚性、視覚性および聴覚性の連合野に囲まれており、さらにヒトにおいて同様に頭頂葉、後頭葉、側頭葉に囲まれたこの領域（parieto-occipito-temporalis, POT）は著しく発達しており、異なる感覚情報が収斂し、これらは高次な感覚情報処理を受けると考えられる。サルの大脳皮質はヒトのそれに較べて、たとえ発達段階が質的に「低次」で萌芽的であるとしても、進化論的にみた場合に、皮質内の位置的関係や線維結合上の類似性からして、ヒトの感覚性言語中枢域（ウェルニッケ中枢）である 39 野（角回）や 40 野（縁上回）に発達し分化する可能性を内蔵している領域と考えてよいと思われる [川村、1977,1988 を参照されたい] 。このサルからヒトへの発展段階はパブロフの条件反射理論から言えば第一信号系から第二信号系への移行段階に即している。

一般に動物は、無論ヒトも含めて符号（信号）を用いてお互いの意志を伝達し合う。その際の伝達手段として、なんらかの突然に発生する事態に対応して、一般的には感情的に発せられると考えられる伝達方法がある。しかしそこにも感情と理性のバランスによって幾つかの種類が見られ、ヒエラルキー的に捉えた場合、より理性的かつ上位の方法として、身振り語、音声言語、文字言語をあげることができる。「あぶない！」とか「逃げろ！」とかの言葉が瞬発的に発せられた場合、相手がサルであってもヒトであっても、その瞬間的言語に対して彼らは本能的行動ないし、いずれにしても一種の無条件反射的運動を示す。これは音声によって特定の行動への指示が与えられた結果であるが、音声によって情報が伝達されているからといって、サルやチンパンジーの伝達手段、つまり彼らの「ことば」が人間の言葉と本質的に同じであるわけではない。

コミュニケーション手段の発達

いわゆる身振り言語（body language）は、①サルやチンパンジーの間、②外国語の初期学習期、③聾唖者間の手話、④幼児の初期言語習得期などに頻繁にみられる。①－④の間でおのおのの条件は当然異なる。しかし共通しているところは、身ぶりという運動信号としての役割を果たすことによって他者になんらかの意味を伝え得るという点である。身ぶりという一種の形象によって「身ぶり観念」とでもいうべきものを作り出すことができるわけである。これは身ぶり言語による一般的表象の個体間での伝達可能性を示している。つまりこれらの状態にあって、サル（または乳幼児など）の脳機能が、各自の置かれた心身の状況に対応しつつ、そのときそこで必要とされるなんらかの観念を形成させ、かつ、それを他に伝達するという初期コミュニケーションの段階に位置することをわれわれは知るのである。

こうした事態は進化的にみた場合に、後連合野内の「原始的段階にある言語野」の形成過程に対応するものと言えるものであり [川村、1988 を参照] 、かつ、通常は音声によって伝えられる言語の意味や観念といったものが

運動に転換され伝達され得るものであることを告げる、動物の一表現活動を成すものである。これを高次化したものがたとえばバレエ (ballet) であり、舞台上の仕草である。古代ギリシアにおいて成立した「ドラマ」が人間の「行為･行動」を意味したのも、このような運動によって何かが伝達され、かつ、人間の高次神経活動の所産として、第二信号系に属する、高次表現機能を持つことばの訴えかけるものとの相互作用によって、ときに、人間各自の行為によって形成される世界の在り方をそこに読み取り得ると判断されたからである。

また、ルネサンス時代に開花した人間の言語への関心と、言語による芸術表現の流れの中で創設されたフランスのアカデミーによっていわゆる近代フランス語が整えられ、ラシーヌをはじめとする人々によってフランス演劇活動が一頂点に登りつめようとした時代に、フランス宮廷バレエが成立して身ぶり言語（ミミーク）によるドラマの最高の段階にまで達する発展をみせたことは、脳機能と身ぶり語（表現・伝達）との関連性について考える上での興味深い視点を提供することになるであろう。全く同様なことは、日本の能や狂言の所作についてもあてはまる。ともかく、身ぶりと言語（表現）に関しては、サルや幼児のようなコミュニケーションの初期段階に立つと考えられるものもまた、「世界」の一部を担い、折々の身ぶり・行動によって世界を形成するものであることは注目に値する。世界は単なる観念でもなければ、高等動物によってのみ形成されるものでもない。いやそれ以上に、このような、とくにコミュニケーションの初期段階を成すヒエラルキー的世界の基底部分にこそ、世界全体を支える礎は存在するのである。世界は、独り人間が作り上げるものではない。人間を含めた、多様な事物の存在の一切が形成する世界に人間もまた組み込まれているに過ぎない。動物たちの身ぶりも、その意味で世界に欠かせない「ドラマ」である。サンクト・ペテルブルグ市内ネヴァ河畔の「夏の庭園」内に造られた、表現豊かな寓意的動物たちに囲まれた詩人 I.A. クルィオフの彫刻群像がそれを見事に現わしている。

音声言語と文字言語

このようなコミュニケーションの初期段階の次にくるものは音声言語を用いることによる観念の形成と伝達の段階である。音声言語が観念を形成するということは、たとえば対話の相手が認知すべき知覚像が話者個人の心理過程から抽象され相対的に自立性を得ることによって、音声記号として相応の客観性や持続性を持ったものになることである。ただし､音声記号は身ぶり記号と違って多くの任意性を持っており、あらかじめその意味を特定するために、個体間ないし集団（生活）内で約束をとり結んで、共通理解の基盤が成立している等の必要性がある。このような任意性を持つ記号を使用することはサルにとっては難しく殆ど不可能である。

サルの脳は解剖生理学的知見に基づいて判断すれば、視覚的に三角形と四角形を判別することや、相手の表情を読むことは可能であるが、文字を認識することは不可能である。同様にサルの脳は聴覚的に異なる周波数の音を弁別することはできるが、感情表現を伴わない、もしくは情動性の乏しい声の内容を理解することはできない。これを担当する言語野に相当する領域が未発達であるからである。記号の任意性を持たない身ぶり記号から記号の任意性を持つ音声記号への発展の過程には形態的にも、現象的にも質的な変化がある。サルとヒトの大脳皮質の間に認められる差、すなわちヒトの大脳皮質の持っている複雑性と特殊性がその変化を説明する機能・形態学的な基盤である。このような質的変化がヒトへの進化の過程で成立したのである。サルからヒトへの進化の過程で、ヒトは身ぶりではなく音声を媒介として観念を形成するようになり、さらに具体的観念から抽象的観念を表わし操ることができるという段階に発展を遂げてきたのである。

この発展は概念の捉え方における質的な変化をも意味する。物事の抽象的反映はその本質的なものを捉えるが、対象の或る側面のみの反映として一面的な認識に陥らないようにするために、この抽象的認識を再び具体的なものに結びつけていく。これが思考における対象の具体的な再現であり、認識はこのようにして、感性的なものから思考による抽象的なものへと発展する。と同時に、抽象的伝達・認識の究極的段階において、再び感性的なものの領域に到達する。そこに、ヒトの脳においてのみ成立が可能であった「芸術」の存在する理由がある。一方、どの民族の言語の歴史を調べてみても、聴覚連合野に依存する音声言語に次いで、視覚連合野に強く依存する文字言語が創造されてくることが分かる。音声言語のみの状態に較べて、文字言語が加わると言語体系がより複雑化されることによって、当然のことながら思考過程そのものの複雑化がもたらされ、言語が思考そのものを形作るに至るのである。

時称の区別、能動と受動と、ギリシア語にみられるような中動相の区別、あるいは断定と推定の区別、現実と仮定と希求の区別等々の文法構造が言語の発展過程で形成され、備えられる。思考が言語の構造を、また言語の構造が思考の構造を多様化させ深化させるからである。

一般的に言えば、しばしば文法と表現は別のものとして扱われるが、これは誤解に過ぎない。文法こそは、他者ないし共同体の共通理解を可能にする人間の思考の構造そのものを成文化させたものに他ならないからである。その意味で、思考の進展が文法の完備性を、かつ文法の複雑性が思考の進化をもたらすと言えるし、文法は人間の脳の活動の様相を客観化させたものであるとも言えよう。こうした段階に到達しているとき、脳の働きから考えて、後連合野と前連合野の中に広く存在する言語中枢はその全体を有機的に働かせていると考えられる。

子供の言語習得

高次の符号である言語を媒介として抽象的思考の段階に進むためには、発達した前頭前野へ伝達される刺激の入力が必要となる。この過程のなかで前頭前野内に能動的性質をもった言語に関する領野であるブローカ 中枢が新しく形成される。与えられた情報の中から概念を抽出し判断を下し、推理を試みるという思考能力を備えた前頭葉皮質が形成され発達してくる。こうして、言語が特殊な信号系として追加されることによって、新しい神経活動の原理、すなわち抽象と普遍化が行なわれるようになる。すなわち、質的に発展を遂げた高次の言語条件反射といわれる第二信号系が形成されるのである。

子供にみる言葉の習得・発達を観察するとき、サルからヒトへの進化の段階で言語を獲得していったであろう過程がこれに類似していることに気づく。言語の習得と概念形成時における脳の活動を説明するに際して、パブロフの発見した条件反射の原理が適応される。後にもみるように（52 節）、児童期から思春期にかけてヒトの脳髄は完成する。それによって、しかし単に言語を操り概念を形成させるのみならず、言語中枢の発達と聴覚・視覚などに代表わされる感覚連合野および能動機能を発現させる前頭前野と密接な関連を持った大脳皮質の成熟が、音楽や美術の鑑賞や表現をも高度なレベルにまで高め得る。児童期から思春期における脳科学の進歩を採り入れた科学的な教育方針が文化、芸術、科学、一般社会の福祉などあらゆる分野で現在求められている。われわれは条件反射の理論を学び、求められている上記の分野にこれを適用する努力を怠ってはならないと思う。

脳の正常な発達と教育の問題に関連して、性格異常、社会的ストレスの影響、ノイローゼ、精神病の発病と予防・治癒への科学的アプローチについて、晩年のパブロフが彼の条件反射理論、とくに第二信号系の理論を動物から、それとは区別される社会的性格を持った人間に拡大して精神医学の分野でいかに貢献しようとしたか。この点をできるだけ具体的に考察してみたい。そのために、そのいわば前段階として、ここでは学童・青年の教育の問題と精神異常の問題を取り上げ、条件反射理論を武器にこれを掘り下げてみる。

人間は、いかにして言語を獲得したのか？ネコ、サル、ヒトの連合野の発達、とくにサルにおける視覚、聴覚、体性感覚など、後連合野皮質における種々の感覚の集中性とその領域のヒトへの感覚性言語中枢への発展については、脳の皮質・皮質間結合の研究により明らかにされてきた [川村、1977, 1988]（前述、50 節を参照）。脳内に符号（信号）を理解する領野、ついで符号の最高のもの、符号の符号化、つまり言語を理解する領域がヒトになって発達するのである。

情動と理性と概念形成

言語の発達が示すように、たとえばサルの日々の生活の内での事象のように、感情的呼びかけが身ぶりと一緒になり、ひとつの呼びかけ＝身ぶりが反復されるうちに集団の内である程度のとりきめが発生する。無論これには逆のケースも見られるわけで、単なる身ぶりに、やがて呼びかけが重なっていく。だがいずれにせよ、外界からの刺激に対してその意味を認知し、さらにここで得られた知識を他に伝達するために行なわれる表現には情動 (emotion) の表出が伴っているのである。情動が、下層から言語伝達を支えていると言ってもよいであろう。

ヒトの場合には、あるいはサルのような動物も含めて、と言うのが正しいであろうが、音声の性格、つまりひとつの単語なり文章なりの発音、響きの違いがしばしば身ぶりに代わるわけで、その点、たとえば教育における音読、発声の訓練はきわめて重要である。行為、行動、身ぶりと言語表現は、ヒトの脳の形態が証明するように根本的には一体を成すものであり、また情動と理性 / 概念も２つの区分された別個の領域を成すものではなく、根源的にはひとつの響きを成すものである。いかなる概念も非情動的ではあり得ず、いかなる情動も概念と無関係たり得ない。昔から人間は一個のミクロコスモス、すなわち調和した一個の有機体として捉えられて来た。将にそのミクロコスモスという呼称が示しているように、おそらくは情動を基盤として、これがときに行為の形をとり、またときに言語表現をとる、と言うのが正しいであろう。

ヒトの脳においてこれらの事象は分かち難く一体化されていること自体がこうした人間の人間たる所以 (ゆえ

ん) を証明しているであろう。と同時に、行動、言語、概念、そのいずれをとっても、人間が他者とのコミュニケーションを計りつつ生きる動物である以上、こうした視点から見るときに、他への伝達・交流に不可欠な能動性が人間の中核にあることも明らかである。条件反射によって成立する人間の形成を可能にするのが広義の運動機能であると言って構わないであろう。別の捉え方をして形態的に言えば、脳の構造とその発達は大脳辺縁系と密接に関連しながら、その古い皮質の上に発達した新皮質とその最も発達した連合皮質内の言語野の発達に、すなわちその過程を系統発生的（進化論的）にみることができるということになる。

言語の起源論 ― ダーウィン、ルソー、マルクス

１９世紀後半にダーウィンは『種の起源』Origin of Species (1859) でうち出した進化論を発展させて著した『人間の由来』The Descent of Man (1873) の中で、人間への進化も、他の動物間の進化と同様、その心の諸能力も含めて、動物との連続性を持っているとした。「言語の起源は、動物の音声および人間の本能的な叫びを、手まねや身ぶりに助けられて模倣し、修正したことに負っている」、「人類の先祖が音声を最初に用いたのは、おそらく現生のサルの仕草に似て、音楽的抑揚を発することで、歌うことだったろう …… また、求愛相手や競争相手への働きかけとしても役だったであろう」と述べ、人間と動物との間の情動表現系を連続的に捉えている。

また、ジャン・ジャック・ルソー（1781）は、『言語起源論』の中で、「情念」を言語発生の原点と考え、次のような言葉を残している。「言語の起源は人間の最初の欲求に負うものではない。…… 人びとを遠ざけている欲求という原因から、人びとを結びつける言語という手段が出てくるというのは不条理だろう。…… 言語の起源は …… 精神的欲求、つまり情念から発している。あらゆる情念は、おたがいに人びとを近づける。彼らの発する最初の声は飢えでも渇きでもなくて、愛や、憎しみや、憐れみや、怒りの故である。」（小林善彦訳）。つまりルソーが主張したのは、対人関係における欲求・感情に結びついたコミュニケーションであった。

マルクスとエンゲルスは、当時の思想状況において動物と人間の連続性を強調したダーウィンの先見的見地を高く評価した。その上で弁証法的唯物論の立場からダーウィンの進化論をさらに発展させて、「意識的な生活活動が人間を動物の生活活動から端的に区別する」[Marx, 1844] と人間と動物の本質的な相異を指摘している。誤解を避けるために付言すれば、本質的相異は意識の有無であると言っているのではなく、生活の中で意識的に社会性、共同性をもって活動をするかどうかという点にあると主張する。

「サルが人間化するにあたっての労働の役割」（エンゲルス）

言語に関しても、マルクスとエンゲルスは、それをコミュニケーション（共同）社会の中で使用される実践的かつ現実的な意識とみなした。この生活活動のうちで、基礎的、主導的なもの（「運動」）として、労働の役割を捉え、労働こそが人間が動物から自らを区別して人間化していく最初の推進力であるとしたのである。労働はその社会的特性によって、人間社会を生み出した。この労働活動こそが、人間と動物の連続性における飛躍の原動力となるものであるとの観点が、後年エンゲルスによって「サルが人間化するにあたっての労働の役割」(1876) という自然弁証法の中におさめられている小論文として結実された。この著作は、進化、労働、言語などの関連問題を多面的な角度から解明しており、現在、高次脳機能に関心をもつ脳研究者を含む科学者にとって是非とも読まれるべき労作である。実際、これまでみてきたように後連合野の働き、言語中枢の発達、運動系・能動系皮質の活動など、これらの相互関連が現代神経科学の広範囲な分野の内で解明されて、上述の科学的見解が実証されている。

52 節　子供の脳の発達と自我の獲得

子供の精神発達と脳の髄鞘化の完成（思春期）

次に幼児、児童の脳の発達について学習意欲と教育について考えてみたい。上述したように根本的には、欲求は脳幹や辺縁系皮質が関係するもので、それが脳幹網様体賦活系を通して大脳皮質の後連合野さらに前連合野を刺激し活動性を与える。その結果、脳の階層的構造に基づく活動によって、低次元の欲求を高次元の欲求、意欲に昇華・発展させ、方向づけ、意識的で計画的な行動に変換させ、前頭前野の働きを以て、行動を意図し、計画し、実行し、評価する。

高次元の意欲とは、このような脳幹・辺縁系の自然的欲求と後連合野の認知体系の活動に対して、前連合野からのフィードバックが働いて、その能動的な働きにより制御（コントロール）されて再編成が行なわれるという、高次脳活動の現象である。こうした経過をとって子供の精神発達はなされる。この精神発達にとって重要なもの

に、神経膠細胞（オリゴデンドログリア）が神経興奮活動を円滑ならしめるために、神経回路を構成する神経突起（軸索）のまわりを絶縁体の鞘で被覆するという、髄鞘化現象があり、この現象によって脳の機能も、ヒトの脳としての役割を果たし得るようになる。いわば、これによってヒトの脳は一応の完成をみる。

髄鞘化は生後漸次完成されるものである。新生児では、第一運動領や第一感覚野では髄鞘化は完成しているが、後連合野や前頭葉ではその発達が遅れていて髄鞘化はみられない。６ヵ月になっても前頭前野の髄鞘化はほとんど進行していない。３歳児の脳で後連合野の髄鞘化は中程度、前頭前野は初期段階である。７歳児では、後連合野でほぼ完成、前頭前野は中程度である。こうして思春期に至ってようやく大人の髄鞘化された脳が完成すると言われている。５－１１歳の子供４５人を対象にＭＲＩを用いて大脳皮質の発達について調べた最近のデータによると、軸索の髄鞘形成と樹状突起の広がりを反映するとされる、灰白質 (gray matter) の厚さが、この間年々 0.4 － 1.5mm の割合で、言語野を含む前後の連合野でとくに著明に、増加するという [Sowell et al., 2004]。

神経回路網の形成

脳の発達には髄鞘化の他に神経細胞（ニューロン）の樹状突起の発達、ニューロン間の互いの連絡すなわち回路網の形成、条件反射に基づく伝達効率が進んだ機能的連合回路の発達、それに、カテコールアミン系（ドーパミン、ノルアドレナリン）、インドールアミン系（セロトニン）、アセチルコリン系の大脳皮質への入力と樹状突起へのシナプス形成と過剰入力への除去、トリミング（elimination, trimming）、皮質と皮質下との構造物間の刺激と抑制のバランスの確立、それに磨きをかけるかのように画竜点晴ともいうべき言語中枢を含む認知機能、能動性発揮の機能と情動機能との有機的な連携が、すなわち適正な外界からの刺激によって情と意と知の豊かに成熟した発達が、青年期までの長いスパンで緩やかに形成されていくのである。

この発達期に情操を豊かに育てることと子供を「プラス」の行為に動機づけることが重要である。それには、発達期の幼児・児童が社会生活の中で身につけていく認知・情動の「世界」を深化させることによって、「単に理解されているだけの動機」を「実際に実効性のある有効な動機」に転化させていくことが大切である。この際、その時点での子供の脳の働きと与えられる情報の処理水準をできる限り一致させるように配慮することによって、発達段階にある機能単位系 [Luria, 1973, 前述] の脳のブロック域を、他の部分の協力を得て、活性化することが重要である。子供は２－３歳頃から片言を独語のように呟きながら遊んでいるが、やがて大人が傍らにいるだけで、子供は自己中心言語を増やしていく。この幼児期は脳内に他人の心を推測する「内部モデル」が形成される時期に相当する。前（36 節）にも若干触れたが、「心の理論 (ToM)」の課題遂行実験 [Baron-Cohen et al., 1985] は、他者の心の内面すなわち心理状態を想定するもの、すなわち、表象を表象する「メタ表象、meta representation」属するもので、コミュニティー活動を支える精神的活動としての「社会的認知、social cognition、（機能）」を反映するいわゆる「社会脳機能」を診るものである。「ToM」という言葉はもともとチンパンジーに他者の心の状態を読む推論系 (system of inferences) が備わっているかどうかを調べようとした論文の中で最初に使われた用語である [Premack and Woodruff, 1978]。この「社会脳」(social brain) の認知機能を支える生物学的神経ネットワークとしては、前頭前野、前頭葉の腹内側部および眼窩部、上側頭溝および回の領域、紡錘状回、扁桃体、視床下部などが挙げられ、その機能低下を社会性の獲得障害として自閉症との関連で捉えられている。

「発達の最近接領域」（ヴィゴーツキー）

社会性を個体発達の基底における一次的に重要なもの

注]：人の身振りを見てその人の考え、気持ち、意図を推測する、すなわち他人の心を読む能力の内部モデルが３－４歳で形成され、その機序に、大脳とくに前頭葉、さらに小脳や扁桃体が関わっていることなどが、「心の理論（theory of mind, ToM）課題」という心理テストの研究によって明らかにされた [Siegel and Varley, 2002; Shaw et al., 2004]。３－４歳の幼児に以下のような寸劇を見せる。太郎と次郎がボール遊びに疲れて、太郎は次郎の目の前でボールを箱の中にしまう。次郎が用事で部屋の外に出て行なった後に、太郎は再びボール遊びをした後、ボールを今度は棚の上に片付ける。数分して戻ってきた次郎はまたボール遊びをしたいと言って、ボールを見つけようとする。次郎は箱の中を探すでしょうか、それとも棚の上を探すでしょうか？　このような寸劇を見た幼児に、次郎はどう考えて行動するかを、すなわち他人の心の中を推論させるテストである。普通 4 歳くらいで「ほかの子が何を考えているか、どんな気持ちか」を推し量ることができるようになるという。対して、自閉症児の多く（80%）に誤答が見られるという。この ToM 課題テストから推論される内部モデルの形成障害と自閉（autism －元来が Bleuler が統合失調症の基本症状の一つとして用いた造語である）が結びつくという仮説が今後どのように展開されていくのであろうか。時折誤用されるので付言しておくが、「自閉」は統合失調症や広汎性発達障害 (pervasive developmental disorders, PDD) などに見られる対人関係障害の症状名であり、「自閉症」は 1980 年代後半以降に社会認知障害という視点から再考されるようになった、統合失調症とは異なる疾患名である。

として位置づけた発達心理学者のヴィゴーツキーは次のように説明する [Vygotsky, 1960]。「子供は本来社会的存在であるから、その社会的関係の中に置かれたならば発達課題をものにし、大人の助けを借りて達成していくなかで自分のものにする」。そして、ヴィゴーツキーは「子供が現在いる関係領域よりもより高い発達段階で、子供が占めることのできる関係領域」を「発達の最近接領域、Zone of Proximal Development, ZPD」と呼んだ。この際、社会が（大人が）子供に要求する課題は、子供の発達の「最近接領域」に属するものでなければならないと主張し、そこで生じた動機は理解され、課題に取り組んでいるなかから、実際に有効な動機が生じてくるという。社会的環境の内で子供の意欲を発達させ、その意欲を意識的な行為に作りかえるには、ヴィゴーツキーの弟子であり、師の社会・発達心理学とパブロフの大脳生理学の視点を取り入れて発展させた、ルリアによれば言語系である第二信号系による行動の自己調節的な働きが重要である [Luria, 1973]。すなわち、子供は言語を介して大人から認識と行動のパタンを真似して学んでいく。子供の行動を規制する大人の言葉を独語のかたちで模倣し、次第にその言語によって自身の行動が統制されていくその時期は、年齢的には（４－）６－７歳頃になるが、この自己中心言語を多用する時期を経て、言葉を自分の思考の手段として使いこなし、言語による表現、意志・思考の伝達ができるようになる。つまり内言語を使用することができるようになるのである。

自己とのコミュニケーション（内言語）

このように内言語とは外言語が発達して内化したもので、この時期は他者とのコミュニケーションの手段としての外言語から、自己とのコミュニケーションの手段としての内言語への移行期に当たる。その後、１２歳頃までは言語が次第に論理的になり、行動面でも具体的事実と結びつけて計画的行為がなされるようになる。その行為が個々の事象に関わる具体的な操作から一般的で概念的・抽象的な操作の段階になるのは児童期の後期に相当する。具体的な方法を経験するなかで、抽象的な解決法が生まれてくる。このことは数の概念を把握する仕方をみれば明らかで、具体的事物を数そのもの、ないしは数の概念に置き換えるという操作を通じて、抽象的な概念が後連合野内に形成されると思われる。この過程に運動系皮質の活動が加わるとき、学習課題の遂行に際して計画性をもった行為が表現されることになる。このような計画的活動が反復されて、行為は一般化され条件反射第二信号系の働きにより意識的なものとなる。

自我の確立

この段階で「行為への意図」を意志作用として定められるようになる。個々の具体的行為が言語的にその意味を正しく認知され評価された上でなされるようになる。この段階では前頭前野（帯状回前方部も含めて）の活動が主体となる。この意志作用は内言語の助けなしには成立しない。次に青年期（思春期）に移っていくが、行為の主体である己を客観的に対象化し、自己を言語によって分析的に捉え、自己への言語評価が与えられるようになる。いわゆる「自我」が確立されていく過程に相当する。以上の生後から青年期に至る神経発達過程に障害が起こると様々な神経症状や精神症状が現われる。無論こうした精神障害の原因究明は強く叫ばれているが、その一つの立場として、胎生期に始まる神経発達の障害仮説が提唱されていることは上記（44 節）の発達過程に照らしても注意されて然るべきである。

53 節　ヒトの脳と精神の科学

脳の発達の研究は精神病の発症の解明につながる

統合失調症患者の死後脳については既に繰り返して観察され、その研究結果も報告されている [Andreasen, 1994, 参照] が、この疾患の母集団を均一化して考察することがむずかしいために、一致した所見が得られにくい。ヒトを対象とするこの種の研究はすべてが一致して、動物実験結果のように、再現性を求めて結論づけると言う性質のものではない。というのは、精神症状の縦断的経過、遺伝負荷要因などの多様性があるのが統合失調症の特徴だからである。しかも統合失調症患者の多くの場合、日常生活においても一見した限りでは健常者とその言動にさしたる差異がみられない。また、思春期に多くが発病すると言われているが、突如として、興奮、幻覚、妄想などの人目を驚かす症状が出現わするのではなく、それまでには、学童期、場合によっては幼児期に周囲から「ちょっと変じゃないかしら」と思われる程度のいわゆる前駆症状がみられるものが大部分である。

死後脳で、側脳室や第三脳室の拡大、皮質体積の減少、海馬の変化［縮小、神経細胞の大きさの減少や配列の異常、形成異常、シナプスマーカー (synapsin, synaptophysin syntaxin, SNAP-25) や樹状突起マーカー (MAP2) の変化］および前頭前野、帯状回、内嗅野などの皮質にみられる海馬の変化と同様な病変が数多く報告されている [車地、2000, 参照]。

以上の病変に、一般にグリオーシス（炎症反応の時にみられるグリアの増殖）の組織変化が認められないことから、グリアの発生する以前のニューロン産生や移動の時期に起こる胎生期の発達障害説が提唱されている。しかし病理学者の言に従って詳しく調べてみると、生後の変化で、とくに海馬などではグリオーシスを伴わない病的変化がしばしばみられるので、完全に納得できる説明とは言えない。とにかく、精神病の発症を解明することは胎生期、幼児期、児童期、青年期における脳の発達を研究することに直接繋がっている。

この際、神経要素（ニューロン、グリア）、栄養因子（分子）、神経細胞接着因子 (NCAM, L1 など)、神経成長因子、脳の発育に関係する遺伝子（転写因子、シグナル伝達因子、シナプス形成や神経回路形成に関するものなど）の動態を相互に関連づけて動的に研究することが重要である。さらに、神経回路の問題では、機能的に異なる大脳皮質の諸領域が如何に連合線維によって結びつけられているかということを単に知ることにとどまることなく、人間の脳と精神の問題を研究する者は、ヒトを人間たらしめる唯一の特質である言語（ロゴス）中枢の問題を情動（パトス）や、これまでに再三触れた、意欲に関連する脳内領域と結びつけ、かつその調査、研究結果を具体的に、かつ客観的言葉によって語っていかねばならぬ責任を負うであろう。

なお、「ロゴス」と「パトス」という用語をこのように科学的・実体的な意味を込めて、高度の認識機能を支えている「言語」活動と、環境との関わり合いにおいて、自己保存から精神機能の発現まで広範囲な行動を保証する「情動」活動を表わすキーワードとして用いているが、このことは人文学者が一般に使用する「精神的」意味合いとは多少異なるので、その点に違和感を覚える読者は、拙論「ロゴスとパトス」[川村、1999b] を参照されたい。

「ロゴス」と「パトス」はわれわれヒトの脳がもっている高次神経機能の大きな側面である。これらの活動は発達した前脳がうまく働かないと発揮されない。

最後に、これまでの記述で欠けている重要な点を考察の対象に選び、次項でまとめたいと思う。それは気質、性格またその異常の問題である。これは既にクレッチマーの項（22 節）で触れたものではあるが、そこで現象学的に記述された問題を改めてパブロフのイヌの性格と実験的神経症の研究と、それを基にしたヒトの神経症 (ノイローゼ) の考察、さらに晩年のパブロフが関心をもった精神異常や精神医学への科学的取り組みの点から話題として取り上げたいと思う。科学を前進させたパブロフの当時としての画期的な特徴は、「純精神的」なものと考えられていた精神疾患の基礎に病態生理学的「機制」の存在を証明すべく実験を重ね、成果を得た点であろう。なお、ここに一言付記しておくが、強迫症、恐怖症、心気症、不安症、ヒステリーなどを含む概念として一括される「神経症」と言う名称は、現在、操作的な診断体系として用いられている DSM-IV(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders、診断・統計マニュアル、1988, 1994) には症候群的用語として採用されていない。

54 節　パブロフの実験神経症および精神疾患に関する研究

神経系の型の分類の基準：「強さ」「平衡性」「易動性」

パブロフ（図７６）は動物において実験的に精神障害のモデルを作ろうと試みた。パブロフの後世に残る仕事である、イヌを用いた「実験神経症」について述べる（以下文献欄、パブロフ参照）。82 歳の高齢に達したパブロフは、1931 年、ベルリンで開かれた第 1 回国際神経学会で、この演題で講演した。彼は動物と人間との間には

（図７６）図１１－５４：ペテルスブルグ郊外のコールトゥシュ科学村にあるパブロフ研究所の庭に建てられたイヌを伴ったパブロフの銅像。

行動上連続した発達がみられるとして、その行動パタンを規定し支配しているものは高次神経活動の「型」であると考え、その理論を 1921 年頃から晩年に至るまで長期にわたって展開していた。彼はその活動の基本的特徴を３つに大別し、それに基づいて神経系を型によって分類した。

第一は、興奮および抑制（または制止）という神経過程の「強さ」(force) で、第二は、この興奮と抑制という二つの神経過程の強さの間の「平衡性または均衡性」(equilibrium) であり、第三は、興奮と抑制の「易動性」(mobility) である。この場合、強さとは環境が強いる緊張に皮質細胞が耐えるという特性である。平衡性とは、興奮と抑制の過程に同一の強さと易動性を維持する特性である。易動性とは、興奮と抑制の過程が環境の変化に答えて変化する特性、すなわち移り変わりの具合である。換言すれば、興奮過程および抑制過程が互いに転換し得る程度のことを言い、易動性の低下を神経過程の不活発、その亢進を不安と考える。

パブロフはイヌの行動パタンに基づいてこのような神経系の三つの要素の組み合わせから、四つの神経系の型、すなわち、① 強くて不均衡な（抑えのない）タイプ、② 強くて均衡がとれ、敏活な（活発な）タイプ、③ 強くて、均衡がとれ、緩慢な（落ち着いた）タイプ、④ 弱いタイプに分類した。これらの神経主義（ネルビズム、Nervism）という神経の影響をできるだけ多くの生物の機能に拡張しようと努める生理学上の傾向ないし立場からの活動特性の分類はそれぞれ、胆汁質、多血質、粘液質、憂うつ質（黒胆汁質）と対応を思い起こさせる。この条件反射活動の研究の結果現れたイヌの性格のタイプは、人間存在をつぶさに観察したヒポクラテスをはじめとするギリシアの哲学者たちが、多分に経験主義的に、そして将に「芸術的に」、ヒトの行動の変異の無限の多様性の中にその基本的様相として捉えた 4 つの気質の型に近いものである。　＄（図７６）

人間の気質とその分類

なお、ギリシア以来のこの人間の四類型は宇宙を構成する四元素に対応するものと考えられ、以後の宇宙観やキリスト教的創造論、プラトン主義の思想の系譜等と結びついて長く、かつ多大な影響を与えた。とくにルネサンス期にこの考え方が改めて注目されたことも手伝って、その衰退は 19 世紀の近代科学を待つことになる。とはいえ、近代科学のみならず近代的科学的思惟に立ったパブロフがこうした人間観に、結果として近く在ったという事実が告げているように、この、人間の類型的把握には、簡単には否定し得ない自然の法則が内在していると考えられる。統合失調症者が、あるいは一般の人間が、生きる環境との関わりの中で捉えられようとするとき、人間の意識が向かい対峙する環境、つまりは自らを取り囲む､目には見えない壁によって囲まれた空間は「宇宙環境」であり、人間についての研究を行なう際にはこうした人間と人間の意識が働く空間との関わりを視野に入れなければなるまい。

実験的神経症研究の発想とそれに対する評価（内村）

次に、こうした文脈を視野に、いささか重要な割り込みをさせて頂く。パブロフの実験的神経症を評価して紹介するなかで内村（1972）は精神障害発生に対する二つの伝統的思想として以下の文章をわれわれに残している。

「この二つの思想の第一は、人間の精神機能は階層的構造をもつというものであり、第二は、精神機能は生理学的反射機構と深い関連をもつというものである。神経系統の機能、また心的機能が、未成熟の段階から、種々の発達段階を経て、最終的に成人の成熟した段階にまで達するという進化論的見地は、個体発生史または系統発生史を注意深く観察し、しかも自然科学的に考える人々にとっては自明の理である。そしてこれはまた近世の精神医学者の誰しもが、精神異常の症状を理解しようとする際に、脳中に描いた前提であったと思う。このことを具体的に記述し、しかも精神異常の解釈を、この進化の反対方向、つまり逆行の結果として捉えようという試みを最初に敢行したのがジャクソンであったことは、前に詳しく述べた通りであるが、その解釈のニュアンスや内容こそ違え、異常な精神症状と低位精神機能とを結びつけて研究を進めた研究者はジャクソン以後にも多かった。本展望で紹介した研究者の中から拾っただけでも、クレペリン、ジャネ、フロイト、クレッチュマー、エイなどの名が挙げられる。層次論と退行論とは、精神病構造論を貫く一つの中心的思想である。

次に、第二の思想たる、反射と精神機能との関連であるが、これは、脊髄反射の生理学的機構の知見にヒントを得て、複雑した精神現象もまた進化した大脳の反射作用として理解できると考えたグリージンガーに始まり、失語症の発見から精神的反射弓の作業仮説を発展させ、これによって精神症状の発生を理解しようとしたウェルニッケを経て、最後に、条件反射の発見に基づき、精神機能とその異常もこの条件反射の枠内で理解できると考えたパブロフに至るまで、長い道程を経た思想である。」

話をパブロフの「実験的神経症」に戻す。パブロフの研究グループは条件刺激を漸次困難なものにして、イヌを葛藤やストレスの状況下に陥し入れるという実験を行なった。たとえば条件刺激として円を示した時に唾液分泌が起こり、長楕円では分泌が起こらないように条件づけをしておいてから、円と楕円を少しずつ似たものに近づけていくと、ある点で、イヌはこの二つを弁別できなくなり､混乱し､｢神経症｣の状態を起こす。この状態では、いままで成立していた条件反射は消失し、興奮や抑制や拒絶などの異常行動、ときには常同行動が現れる。

パブロフによれば、大脳皮質は動物を取りまく環境の種々の条件との間に、うまく適合し、均衡を保つことができるための複雑で高級な器官である。ここで上の実験のように対立する神経過程がぶつかり合うと、大脳皮質は刺激の作用の後も種々の外的刺激に対して「不適当」に反応し、ときに「異常」に反応するが、このような皮質の病的状態をパブロフは実験的神経症と名づけた。イヌの行動を観察した結果下された､「神経症」を起こす条件は動物の個性もしくは行動の型として現れる性格によって左右されるという指摘は現代の精神医学の思想に直結するもので、誠に意義深く重要である。また、認知および統合機能活動の「困惑」（上述の楕円か円かを判断する課題）により形成される神経症の発症機序は側頭葉ニューロンよりもむしろ前頭葉ニューロンの活動負荷によるであろうと考えられる。なぜなら、目的は異なるが、実験動物にサルを用いて、ネコ 100％、イヌ 100％およびイヌ・ネコ [x・(100 － x)]％の「ハイブリッド・融合」画像を順次見せて、カテゴリー形成シグナルの研究を行なった、フリードマンら [Friedman et al., 2003] の最近の実験結果からもこの見解は導かれよう。

ともかくも、この実験神経症の研究のきっかけとなったのは、１９２４年９月レニングラード（今のサンクト・ペテルブルグ）のネヴァ河が大洪水に見舞われたときに、異様な濁流と旋風の渦巻き音を体験した実験動物小屋内のイヌの多くが、その後同様な気象条件下に置かれたとき、いわゆる神経症という異常な症状を起こし、しかもその病状の程度はイヌたちの性格の差を反映していたという事実であった。そして、条件反射形成の研究過程の中で、動物（この場合イヌ）の神経系には相異なる三つの型、すなわち①興奮型、②抑制型、③中間型または平衡型が存在することをみい出した。パブロフが実験動物の個性を分類する際に注意を払ったのは以下にみられる三つの基礎的な特性についてであった。すなわち正や負の条件反射がどのくらい急速に形成されるか（易動性）、それがどのくらい強い耐久性を持っているか（強さ）、興奮と抑制という神経過程の間の平衡がどの程度に達し得るか（平衡）、に注目した。

動物と人間の病的状態を比較する際に注意すべき点

パブロフは実験動物のさまざまな病的状態と人間の神経症や精神病で観察される色々な病的現象とを比較すべく努めたが、神経系の型のタイプを人間にあてはめる際には、生物学的要素のみならず、社会的要因が非常に複雑に混在し、かつ融合しているとして、極度の注意が必要であると考えていた。しかし同時に、大脳皮質で生じる神経過程の基本的法則には、イヌ、サル、ヒトに共通のものがあると確信していた。パブロフが強調するこの複雑性は、人間を取り巻く環境が労働という過程を通じて、社会的な性格をもってきていることからくることによる。つまり、人間の型の決定にも適用される上述の神経系の三つの特性　－強さ・平衡・易動性－　は、社会的環境のなかで形成される。もって生まれた神経系の特性の上に、それよりも基本的な意味をもつものとして、性格や気質のもつ社会的価値、期待、困難の克服、組織への忠誠、問題解決の知識や実践能力、生活上の打撃や緊張など様々な要因が加わり環境との複雑な対応を迫られることになる。

「芸術家型」と「思索家型」

以上のように洞察して、パブロフは人間の神経の型を決定する二つの新しい基準を導入した。すなわち、人間の型の問題は強さ、平衡、易動性に加えて、一方では皮質と皮質下の活動の間の、他方では第一信号系と第二信号系の間の、相互関係の特殊性という面からも研究されなければならないとした。要するに、人間の型を決定するためには、ある個人が受けたすべての影響について考察する必要があるとしたのである。これからの神経・精神科学者としては、解剖・生理学的にみて、一方は大脳皮質と脊髄・脳幹･間脳･大脳基底核･辺縁系を含めた「下位」中枢との相互連絡について、他方は皮質第一感覚野と幾つかの段階に区別される皮質連合野との結合について、少なくともネコ・サル・ヒトの知見を比較しながら論じたいものである。そうすることによって、動物界における人間の位置が明確化されるからである。科学者であると同時に教育者であり、かつ柔軟であったパブロフは、ここでも人間の神経系を非常に一般的な三つの型に分類する。或る人々は第二信号系よりも第一信号系をよりよく発達（｢芸術家型｣）させ、他の人々は第一信号系

よりも第二信号系をよりよく発達 (「思索家型」) させる。また、大部分の人々は、自らが調整者の役割を果しつつ、二つの体系の均衡のとれた相互関係を発達させている。教育家としてのパブロフは、このように、ときに極端ともいえる比喩的な言葉を用いて分かりやすく説明している。人間の型に関するこの理論を理解するためには、われわれはさらに両信号系の性質と両者の関係とを研究する必要がある。問題の中心は情動と思考の性質および相互の役割にある。

情動と認知およびそれらの相互関係の基礎にある高次神経活動は、皮質にある二つの条件反射系（感覚系と言語系）と皮質下にある無条件反射系を含んでいる。認識 / 観念は常に言語による抽象作用であるので、言語信号系が認識の基礎をなす神経活動となる。他方、情動は、主として感覚信号系と皮質下（扁桃体、中隔核、分界条底核、側坐核／腹側線条体を含む大脳辺縁系を構成する部分）の無条件反射系の相互作用である。このように認知の機構と情動の機構の基礎にある神経回路を含む諸々の過程は、互いに密接に関連している。繰り返すが人間にあっては、認識（観念）と情動表現は、実在を意識内に反映するものとして不可分に結びついている。その意味で、動物と違って言語中枢を備えている人間にとっては、情動は認識されて意味を持つものとなる。このように人間においては、「情動は認識に基づいて表現され、認識は情動を伴っている」。

精神科診療に従事した晩年のパブロフ

人間の高次神経活動の異常を研究するため、晩年のパブロフは１９３１年（８２歳）より午前中はネヴァ河畔の生理学研究所で働き、午後は同じワシレフスキー島内の病院で精神科診療の仕事をするという研究組織を作った。そして水曜日の午後、症例検討の「水曜日談話会」を行ない、生理学的な機構から疾病の解明に取り組み、脳の機能局在を念頭に、それを体系化しようと試みた。パブロフは多くの神経症や精神病を、精神科医と一緒に観察し、討議し、治療することを通じて、患者、個人個人の持つ生活刺激および神経系の「特殊性」に結びつけて考えるべく努力した。こうした態度を貫いて、統合失調症（schizophrenia）や強迫症 (obsessive)、妄想症 (delusional)、心気症 (hypochondrial)、抑うつ症（depressive)、ヒステリー（hysteria）など種々のタイプの精神異常の患者を分析的に診断し、治療した。そしてパブロフは当時の思弁的、主観的理論や現象学的解釈に抗して、「機能的精神疾患の基礎には病態生理学的機制がある」と主張し、実験生理学者としての臨床観察に基づく推論を主としてはいるが、以下のような指摘を残している。

たとえば、統合失調症とくに緊張病にみられる無関心、感情鈍麻、無動や常同（運動）の症状などは、覚醒状態から完全な睡眠へ移行する際、すなわち中間諸相の状態に現われ、パブロフの分析によれば、これらは慢性催眠状態に観察される特徴的な抑制現象に近いもので、脳の諸部位とくに大脳皮質に見いだされる。統合失調症にみられる他の症状としては、拒絶症やカタレプシーなどがあるが、これらも健常人が催眠に罹ったときによく見られる現象であるとしている。次項：「パブロフによる精神疾患の分析」に解説風に記述する。

パブロフの指導の下に「動物の内界」を認識するために行なわれた動物行動の客観的研究法と動物と環境との相互関係を生物学的に分析したデータとその解釈およびヒトへの応用に際しての慎重な態度について、またさらに人間の精神疾患を分析した研究の成果 [Pavlov, 1927; 1903 － 1936 ; 1949] について、現在われわれは学ぶことができる。彼は、高次神経活動の諸法則を利用して、ヒトにおいて言語が特殊な信号系として追加された第二信号系に精神症状があてはまるとして、正常人の精神過程の分析、第一・第二信号系の機能障害者にみられる精神病の臨床的研究を行ない、それらを系統的に内省することに努めた。人間は言葉を用いることによって第一信号系を記号化して、つまり新しい質の、独特な記号を用いて主観的に思考内容を表現できるようになったのである。

パブロフは約 15 年にわたって神経症と精神病の研究をしたが、その経験から、条件反射を弱めるような非常に強い刺激によって皮質ニューロンがそこなわれるのを防ぐことを意図して、激しい外的刺激を制限して、細胞の興奮状態を抑制状態に移すべく、生体を休息させて脳を保護する療法を求めた。この立場から、たとえば睡眠療法など、当時として考えうる有効な治療法について探求し、彼が好んで口にした「科学的に健全な心理療法」に向かって歩を進めることを願っていた。精神や魂を身体とは結合されてない独立した不死の実体として観念的に心理学者が研究していた時代に、精神を高次に組織された物質である脳の本性として捉えたパブロフの自然科学者としての先駆的活動は今日改めて評価されるべきである。

なお検討を要するとは言え、精神病は大脳皮質の「保護抑制」(注：脳の過剰興奮の結果おこる皮質の抑制状態）として理解されるという仮説をパブロフは提出している。このようにパブロフの条件反射学説は、客観的に

精神疾患の病態生理を研究する方法および理論の一つとしても２０世紀初頭において、画期的な特色を備えており、臨床医学の場で、「皮質細胞抑制効果」を主たる目標とした「薬物療法」と「精神療法」が行なわれている今日においても、その意義は少しも失われていない。脳機能についての知識が飛躍的に増大している現在、今日の精神・神経医学者は、臨床医であれ研究者であれ、本来不可分の関係にあるそのいずれの立場にあっても、そのなかから核心となる豊かなものを抽出し、それらを発展的に統合していく用意をすべきであろう。先人が築き上げた臨床・精神病理学 / 症候学と協調して、精神的症状の基礎にある病態生理学の機制を精神医学が発見すべく追求し、精神的症状を科学的に理解できる確実な土台に据えねばならない。現在脳科学は大きく進展し高度の知識をわれわれは持っている。この財産を万民共有のものとして、芸術、教育、医学の分野にこれらを適用させ、科学的な方法を生み出して、豊かな芸術、正しい教育、安心できる信頼される医療を築いていかねばならない。

パブロフによる精神疾患の分析

統合失調症についてパヴロフは、行動に現れた病的症状を注意して分析した。彼は高次神経活動には、以下に述べる二つの側面が認められることを知っていた。すなわち、一方では、外的対象からくる種々の刺激と筋肉や腺の反応とを一時的に結合させる興奮過程は、生物体が覚醒状態にある間は常に、その生命活動の一部となっていること。他方、興奮を抑える制止は、大脳皮質細胞を保護する役割を常にもって現われることである。

彼はまた、睡眠とは制止が大脳半球全体に広がった形であり、他方、覚醒状態から完全な睡眠への移行には、催眠相と呼ばれる中間状態があることを証明した（33 節、参照）。催眠の諸相は、一方では、制止が大脳半球の諸領野内および脳の種々の部分にどの程度広がっているかによって、他方では、同一時における制止の深さをとおして知られる制止の強さがどの程度であるかによって現われ、統合失調症や神経症などの客観的分析に重要であると考えた。そして、統合失調症の無関心、鈍麻、運動抑止、衒気（てらい、おどけ）などの症状が催眠相のなかに見い出され、慢性的催眠状態を現わすものであると結論づけた。

統合失調症と催眠相とを結びつけようとするパブロフの主張をさらに証拠づけるものに、拒絶症（Negativismus）がある。患者はいつもの正常な条件づけとは逆に反応する。たとえば、食事が出されると食べないが、食事をさげると食べたがる。同じことは催眠の或る相でも起こる。

常同症（Stereotypie）、つまり患者が注意をむけている人のことばや身振りをたえまなく反復することは、反響語（Ecolalia）および反響動作（Ecoplaxia）と呼ばれ、統合失調症ではよくある症状である。それもまた正常人が催眠に罹ったときにもよく見られる現象である。

強直症（Katalepsie、身体のある姿勢をとると、そのままその姿勢をとりつづけること）と緊張病（身体のどの部分についても、いまもっている姿勢を少しでも変えようとすることに抵抗する筋肉の緊張状態）はいずれも、統合失調症の症状であると同時に催眠時にあらわれる現象でもある。

衒気、稚気（子どもっぽさ）、愚行、気まぐれで攻撃的な興奮といった症状は、催眠相やアルコール中毒症にも見られ、皮質下が大脳皮質から受ける全般的制止から、解放されている状態と考えられる。すなわち、パブロフによれば、酩酊、催眠、ある型の統合失調症における稚気と愚行は、皮質の統制が下位中枢にまで及ばなくなっていることによる。

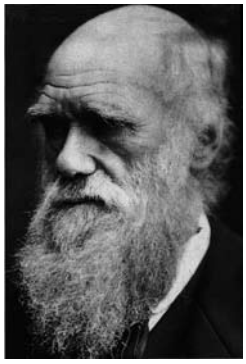
パブロフは、＜機能的＞精神疾患の基礎には病態生理学的＜機制＞があると考えていた。機能的精神疾患の病態生理学が発見される以前には、意識が無意識にたいしてさまざまな制限を課し、無意識はこの制限に反抗する、という理論であった。するどく対立する情動や状況は精神疾患を引き起こす有力な原因たりうるが、パブロフは、それは精神疾患の機制にはなりえない。彼は、機能的精神疾患を精神的活動の基礎にある神経過程の一定の機能停止であると考えた。彼にとって治療は、第一に、健康な神経の働きを回復させることであった。さらに進んで、再び病的状態に戻らないように保証すべく生活条件、意識、行動を変えることを含んでいた。

以上は、パブロフ著「高次神経活動の客観的研究、1903-1936」とウエルズの書 [1966] から筆者が学びとったものの要約である。因みに、ここで言う「催眠相」は覚醒状態から完全な睡眠への移行相を意味し、脳活動の興奮と抑制のバランスが崩れていく過程に対応している。パブロフは精神科医師たちと討論を重ねながら、鋭い観察力をもって精神疾患の状態像を分析した。当時の精神医学の研究水準と精神病者に対する医療状況から考えて、彼の患者に対する暖かい精神と科学的な考え方に触れることができよう。

メモ]：

パブロフ（Ivan Petrovich Pavlov、1849 年 9 月 14 日誕生―1936 年 2 月 27 日死去）のノーベル賞 100 年を記念するロシア科学アカデミー主催の会議が、St.Petersburg（旧レニングラード）の Tavrichesky Palace で、記念碑の除幕式が雪の降るパブロフ生理学研究所本部前の広場で、2004 年 1 1 月 23-25 日に行なわれた。周知のように、パブロフは 1904 年「イヌを使って消化生理を研究し、消化液分泌の神経支配を解明した」との理由でノーベル賞を受けた。生理学と心理学を結びつける新しい考え方、すなわち条件反射を示したのである。筆者は旧友のマッカロフ教授の招待を受けて、アカデミー会長や研究所所長などの演説を前菜として、デザートのパーティーまで、もちろんメインコースの学術講演にも、ネクタイを締めて、すべてに参加した。それらは、パブロフの３つの大きな業績である、血液循環、消化、および高次神経活動の研究を反映して、「パブロフと２１世紀の科学」（生理学会会長講演）、「血液循環のメカニズム」「消化管からの感覚信号」、「シンポジウム：消化生理学におけるパブロフ理論の発展」、「免疫系と消化管」、「消化活動に対する扁桃体による制御」、「多機能協調の概念にみられる動的ステレオタイプに関するパブロフの理論」、「シンポジウム：脳の統合機能に関する神経生物学的基盤」、「シンポジウム：パブロフ理論と臨床医学の進展」、「シンポジウム：条件反射と現代の行動科学」、「遺伝子発現とシナプス可塑性」、「高次神経活動のパブロフ理論と近代精神医学」など盛り沢山の内容であった。招待講演の中には、「不確定性原理」「場の量子論」で有名なノーベル物理学賞受賞者 W. K. Heisenberg の息子である M. ハイゼンベルグ教授（ヴュルツブルグ大学）による「ショウジョウバエの脳内に認められる記憶の痕跡」と題した発表があり、私にとっては、たまたま夜のコンサートで聴いた V. ゲルギエフ指揮によるヴェルディのレクイエムと共にたいへん印象的であった。

第１２章　　脳と精神の科学の発展と諸問題



第 12 章　Charles Robert Darwin (1809-1882)
ダーウィンは「種の起源」（1859、リンネ学会での進化論の発表はその前年）の他に、「家畜と栽培植物の変異」（1868）、「人間の由来」（1871）、「ヒトと動物の感情の表現」（1872）などの書を著わした。精神分析の創設者のフロイトもギムナジウム時代（1865-1873）、ダーウィン理論の影響下にあったと思われ、発達（発生）と進化を結び付けて「獲得形質の遺伝」について考え続けた。

55 節　近世科学史上の幾つかのでき事

わが国の精神病の治療の歴史―精神病者は罪人ではない

京都の天台密教寺院・岩倉大雲寺（10 世紀）における飲水・灌水（滝浴場）などの水による治療，岡崎の光明山順因寺（12 世紀）における灸・漢方薬治療をはじめ、高尾山薬王院や岐阜の鉄塔山天上寺における滝治療、鳴門の阿波神社における水行治療などの民間療法が行なわれ [小俣、1998、参照]、「我邦ニ於テハ古クヨリ精神病ヲ以テ一ノ疾病ト看ナシタレドモ」[呉と樫田、1918]、西洋においては、１８世紀末 (1792) にピネル (Pinel, 1745 － 1826) がフランス革命の真つ最中に精神病者を鉄鎖から解放して、拘束せずに治療するという方法を実施するまでは、彼らは正当な人格も認められない、悪霊にとりつかれた罪人（つみびと）のように扱われていた。精神医学の曙を象徴するパリにおけるこのでき事は、精神障害に病気としての意味を与え、精神病者の人権を社会に訴え人々の眼を開かせた。精神病が脳の病気 (Geisteskrankheiten seien Gehirnskrankheiten. また、ein Symptomenkomplex verschiedener anomaler Gehirnzuständes）として自然科学的方法をもって医学の研究対象となったのは、グリージンガー書の "Pathologie und Therapie der psychischen Krankheiten (精神病の病理と治療)" が世に出た 1845 年以降とされている。当時の自然ならびに社会科学的事項をピックアップして時代背景をみてみよう。この１０数年後にダーウィンが『種の起源』を出版し (1859)、パスツールが生物の自然発生説を否定し (1860)、ブローカが言語中枢を発見し (1861)、セーチェノフが『脳の反射』を出版し (1863)、メンデルが遺伝法則を発表し (1865)、マルクスが資本論第一巻を刊行 (1867) している。考えてみると、価値観というか世界観の変革を激しく迫られた大いなる転換の時代であった。

クレペリンの功績

神経の回路網や構成についてはかなり明らかにされてきたが、精神病の成立機序や治療法が充分に解明されるのは 21 世紀の中葉以降であろうか。あらためて歴史をひもといてみる。1838 － 39 年に、シュライデンとシュワンによって細胞説が確立され、その 20 年後にはウイルヒョウが『細胞病理学』なる大書を著している。グリージンガーはベルやマジャンディに代表わされる脊髄反射の生理学を精神病学の拠りどころにして精神の座を脳に求めたが、さらにその発展の上に精神障害の身体的基盤が信じられるようになったのは、クレペリンが他の身体疾患と同じく、精神病にも原因、経過、転帰、病理解剖の同一性をもつ疾患単位があると考察し『精神病学綱要』Kompendium der Psychiatrie を出版した 1883 年頃からで、この頃には神経細胞（ニューロン）の概念もほぼ固まりかけていた。

２０世紀前半の科学の進歩

19 世紀の遺産をひきついで、20 世紀前半には輝かしい成果が産まれた。パブロフの大脳皮質の働きを中心とする条件反射理論、カハールのニューロン説とそれに基づく中枢神経系組織学の研究、シェリントンの神経生理学、モルガンによる近代遺伝学の基盤の確立、シュペーマンによる形成体（オーガナイザー）という発生学上の大きな発見、ベルガーによる脳の活動を経時的に記録する脳波の導出、ヤスパースによる現象学的精神医学の基礎となる精神病理学の方法論の確立等々、神経学・生物学の領域に限っても数え上げればその成果は切りがないほどである。２０世紀後半には生命科学に対する関心が高まり、ワトソン・クリックによる核酸 DNA の二重らせん構造説 (1953) に始まる分子遺伝学の発展成果を神経発生生物学や脳の科学に結びつけようと、それぞれの専門分野で大きな仕事を成し遂げてきた理論物理学者や分子生物学者たちがこの神経科学の分野に好んで手を染めるようになった。その結果、非生命体を対象としてきた物理、化学の成果を存分に取り入れて、宇宙の始まりからの化学進化により生成された、物質によって構成される生命進化（生きた細胞の進化）の産物である有機体（＝

生物）を対象に、それまではこの領域で用いられることのなかった分子、遺伝子といった、物理化学の分野で物質に冠せられていた言葉を用いて脳の基本的な仕組みを語ることができる研究を進め得るようになった。因みに、「免疫」、「癌」の研究の次に到来するものとして、２１世紀は「脳の世紀」と位置づけられている。

56節　１８－20世紀における音楽・美術―精神文化の新たな局面

音楽、美術においても、19世紀から20世紀にかけて、価値観の変革と創造をせまられた時代であった。人類はかつて経験したことのない二つの世界大戦という精神社会の荒廃を身をもって体験し、不確定要素に囲まれた時代を過ごしている。つまり、戦争と軍事科学と化学兵器による大量破壊がもたらした人間の精神不安には計り難いものがあった。

とくに第二次大戦中の原子爆弾による影響には異様なものがあった。無論、原子力の平和利用という別の道もまた原子エネルギーの利用という点から発展させられてきてはいるが、原子の分野に人間が手を染めたことと、ＤＮＡを扱うようになったこととは「人間」が「人間」に何をなし得るかというきわめて解決困難な、同時に人間が解決の道を探らねばならない問題を内包している。このような人間の手による、人間の否定を可能にする道が拓かれた時代にあって、人間の精神文化も新たな局面を迎えることになった。ただし、発想の経緯は、一方的に、こうした医学や兵器の進展の面から人間の精神文化の変化が捉えられるべきではなく、人間の思考の変化それ自体が一方では医学などの領域における発展を促し、また他方において精神文化の新たな次元を開花させたのだと考えねばならないであろう。

ルネサンス時代

人間の歴史もしくは人間の精神の歩みそれ自体に「近代」の刻印を押したのはルネサンスである。イタリア・ルネサンスにおけるフマニスムス、つまり人間に関する新たな探求、新たな学問がそれ以前の中世とは異なる視座を人間にもたらし、わけても医学的・科学的人間の研究が中世とは異質な世界を人間にもたらしたからである。そのようなフマニスムスに立つ医学・科学の代表例をパラケルススやレオナルド・ダ・ヴィンチに見ることができるのは衆知のことであろう。とはいえ、パラケルススが、ヘレニズム時代のガレノスと同様の立場に立って、なお哲学的世界観の中に医（学）を位置づけていたことからも了解されるように、今日的意味での「近代医学」が成立するのは１８世紀から１９世紀かけてであったと言うのが正しいであろう。

レオナルドにみられるように人間の解剖もルネサンス時代には行なわれたが、とくにレオナルドの場合にそれを医学に結びつけるのは難しいであろう。従って、近代的思考はルネサンスに端を発しながらも、それが充全の成果をもたらすようになったのは、上に記された輝かしい研究の相次いだ１９世紀に入ってからだと言うのが将に正鵠を得ていよう。このことは、人文科学においても１７・１８世紀を「バロック時代」として捉えようとするのと軌を一にした現象であり、ルネサンスがバロックの精神を成立させ、また同時にバロックの精神がルネサンスを終息させたのである。同様にバロックが１８・１９ないし１９・２０世紀の思考を成立させたのである。この、ルネサンス以来の「近代」という大きな時の流れと、その中に近代を前後に二分する１８世紀（末）の区分点を持つ「思考の歴史」は、そのまま人間の精神文化の中にその姿を刻んでいる。

近代への歩み

たとえば、美術史ではイギリスに端を発する近代風景画の成立があり、ドイツのいわゆるロマン主義芸術があった。また音楽では、バッハの没後に古典派が成立している。イギリスの画家コンスタブルやターナーとドイツの作曲家ベートーヴェンが同時代者であったことは、１８世紀末の二分点の存在をよく告げているであろう。とはいえ、一般の解説書にみられるように、ベートーヴェンは新しい時代の人間であり、バッハの死は旧時代の終わりを告げたと単純に言い切ることができないのも事実である。ここで問題を音楽の領域に絞り込んで、医学の進展との対応の中で、人間の思考の歴史の推移を要約すれば以下のようになるであろう。

第一に注意すべきことは、一般に理解されている「音楽」はきわめて特殊なものであり、西欧の１８・１９世紀ないし１８世紀の中葉から２０世紀の中葉に至る２００年の間に成立したものであるという点である。すなわち、それ以前のものも、それ以後のものも、一般に言う「音楽」とは音楽としての在り方を異にしているため、これをすべて同一の尺度・判断で捉えることは不可能である。

いま、音楽と人間の思想との関係を軸に眺めてみるならば、音楽によって表明される思想は楽譜によって響き化（音響化）されるから、思考・思想の変化は楽譜の扱

い方の変化となって表われてくる。その変化が明瞭になるのが前記の１８世紀（中葉）であり２０世紀（中葉）であった。この二点の中間の時代の音楽はいわゆる調性音楽と呼ばれるものであり、普通に何か楽曲を呼ぶときの、たとえばベートーヴェン交響曲第５番「ハ短調」の「ハ短調」によって示される或る音組織に従って思考（表現）を述べていくものである。この音組織の成立の歴史はルネサンスからさらに遡って中世にまで及ぶものであるが、中世の教会旋法と呼ばれる古代ギリシアから継承された音組織から、１８・１９世紀に至ってヨーロッパは調（性）体系を作り上げたのである。しかも旋法と呼ばれる組織が世界各国の民俗音楽の中に広範に用いられているのに対して調性音楽の組織はヨーロッパのこの時期にのみ用いられた特殊な組織である。この音組織を詳しく調べることによってヨーロッパ的思考の特性を捉えることができると言えようし、またこの組織が２０世紀に入って崩壊したことの内に、ヨーロッパという大きな精神世界を形成してきたフマニスムス的人間の世界の崩壊を見ることができるであろう。

57 節　自我の形成と精神面の動揺

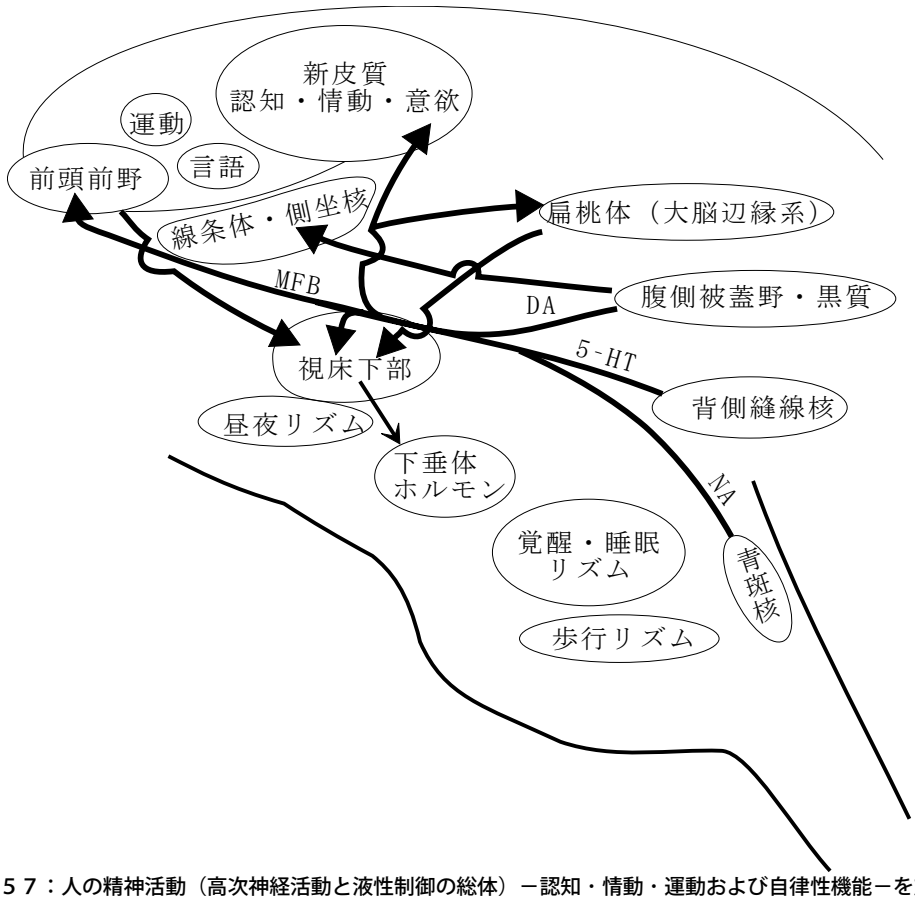
自我形成期の脳の発達

この項では、以下に、脳の活動の所産である精神活動と複雑な社会の中で能動的に生活する、社会的動物である人間の発達について、人間を人間たらしめる自我の形成時期である青年期（＝思春期）の精神活動にだぶらせながら、解析を試みることにする。

図７７はこれまでの記述をまとめたものである。大脳新皮質と大脳辺縁系に代表わされる２つの大きな高次機能である受動系としての認知機能と情動機能、それに能動系としての運動と意志の発動がある。これらの高次神経活動の総体（精神）を下部構造が支えている。

それらは、覚醒・睡眠リズム、歩行リズム、昼夜リズムなどの自動調節システムである。複雑な神経回路網が完成されて脳が活動する際には、これらの脳幹レベルに存在する諸々のリズム発進の機構の他に、ホルモンや伝達物質などの液性因子が参加してくる。視床下部、大脳皮質など脳の広い範囲に分布する神経伝達物質のシステムとしては、縫線核由来のセロトニン系 (5-HT)、青斑核由来のノルアドレナリンあるいはノルエピネフリン系 (NA あるいは NE) および腹側被蓋野／黒質由来のドーパミン系などがある。

その他、興奮性アミノ酸であるグルタミン酸や抑制系の GABA（γアミノ酪酸)、それに知能活動など広く精神活動に深く関係するアセチルコリン系 (Ach) もこれに加わる。外界から感覚器官を通じて受容した刺激が大脳皮質後連合野で知覚・認知・認識されるが、他方では、こ



（図７７）図１２－５７：人の精神活動（高次神経活動と液性制御の総体）－認知・情動・運動および自律性機能－を支える生命のリズム

れらの諸刺激が生体にとって益か害か、プラスかマイナスかの価値 / 意味が扁桃体で情緒的に判断される。それらの全体が知的に、意識的に、かつ感情が移入されて、運動系と感情表出系の両系を介して外界に出力される。前者の神経基盤は主に大脳運動皮質・線条体系で、後者のそれは視床下部・下垂体系である。大脳新皮質とくに前頭前野が関連する高次の機能については別に論じた。ここでは多数のアミン、ペプチド、ホルモンなど液性系が関与する感情表出系に焦点を当てて、その機能について発達論的に筆を進め、そのメカニズムについても人間の精神発達と関連させて、思春期における自我の確立という特別な視点から光を当てて考察してみたい。

精神活動が乱れやすい時期

統合失調症を含めて、思春期（広義、狭義に採るかにより幅があるが、１１歳～１５～１８～２０歳）に発病する精神疾患は多い。人間の生涯を通じて、思春期は身体的にも精神的にも発育・発達の変化が最も著しい時期に相当する。まず、身体的面では、第二次性徴（男子で陰茎、喉頭軟骨、声変わり、陰毛など;女子で乳房、陰毛、初潮、脂肪沈着など）として特徴的な変化が認められる。１１才頃から１５才頃までに生ずるこの身体上の著変は意識的にも無意識的にも、当然自己の精神面に大きな影響を与える。一言でいえば、この身体的エネルギーの内的な緊張を伴う急増に対して、どう対処するかが問題となる。

物質的な基盤としては、上述の神経伝達物質からホルモンまでを含めた自律神経系、情動系、液性系を主体に包括される変動と言えよう。変化に対応する心的活動の変化 / 変動が突如として大きくなる。外的および内的刺激に対する過敏性 (Irritabilit?t) が認められ、情緒的に不安定になる。自分をとりまく社会との関わり合いの中に置かれている人間は、この青年期（＝思春期）になって初めて、両親・教師への従属的な存在に対して、未成熟さを自覚し、過度の自意識をもって周囲に対して過敏に反応しながら自己の存在を確認しようとする。この時の脳内機制を考えてみると、感覚野と知覚連合野のニューロンは感覚刺激を処理し、その情報を前頭葉に伝達する。そして前頭前野で受け入れる過程で、外界の刺激の価値判断を行なう扁桃体を主体とする辺縁系と情動の表出を行なう視床下部を中心とする感情出力系の両システムを、大脳新皮質連合野が調節・コントロールする機構が発達する。この新皮質とくに前頭連合野から辺縁系や間脳領域に送られる制御・調節系が適正に形成され、活動することが大切で、このシステムに総括的に関わる前頭前野が成熟するのが（髄鞘化を含めて）丁度、思春期に相当する。

この発達が障害されるといわゆる思春期の精神障害としてみられる症状が現れる。そこには青年独特の攻撃性、反抗性、思い上がりがみられるが、それは、社会から容認されるような形の判断基準（価値観）を身につけ、大人の社会からその存在が容認されるものとして自覚的に定められたものとはなりきっていない。そこには精神医学あるいは心理学で言われる両価性 (ambivalence) と言われる心的状態が顕著に認められる。これは知性の面でも情動の面でもみられるが、とくに後者で明らかに認められる。いわゆる正と負という価値の対立した概念が同一個体の中で同時に存在している。すなわち、優越感と劣等感、自負と依存、尊敬と侮蔑、服従と反抗、愛情と憎悪、純愛と肉欲愛といったものであり、また感情とそれに伴う表情とのあいだに調和と統一を欠いている。

自己同一性の形成と障害

思春期の障害としては情動面の動揺や変化に対応できず、安定した基盤をもった自我が確立できず、精神分析学でいう社会的同一性 (social identity) の形成が未熟な段階に留まっているが、社会は彼らに対して大人として対応する。

このように思春期＝青年期は、自己の同一性 (identity of self) 、すなわち自我を形成する上で、精神形成の上で重要な時期である。この時期、家族や小・中学校で教えられた価値観が社会との接触を通して、矛盾に直面し、妥協を強いられ、必要悪を認めねばならぬことにもなる。親や教師に従属的に規制されていた独自性に欠けた「良い子」が、ここで試練に直面することになる。社会からはじめて主体としての営みを求められるのである。この時期における社会との言語および行為を通じての対応やその処理の仕方が、独立した個人の責任として求められるので、青年期の人格形成時期には、社会環境が乱れているとき､その影響を直接に強く受ける。この際､倫理的､道徳的なものを含むが故に、前頭前野の健全な発達とその働きが重要な鍵になる。

生活のリズムの乱れ

生物体の日常行動は健全なリズムの上に成り立っており、このリズムが大きく偏位したときには身体的、精神的異常が現れる。昼夜リズムの障害は、視床下部を中心とする気分の障害やうつ状態を出現させる。睡眠・覚醒のリズムの障害は生命機能が宿る間脳から延髄までを含んだ脳幹の機能調節の変調を伴い、その結果身体の疲弊

と精神の不安、焦燥感を引き起こす。近年、薬物依存の障害で、覚醒剤中毒や睡眠薬中毒（ひいては抗精神病薬依存）が問題となっているが、これらは脳幹レベルにおける神経伝達物質とその受容体と液性伝達系、自律神経系、さらには免疫系の障害として捉え得る。

また、広くリズムの障害は食欲（拒食や過食）や性欲の行動異常を引き起こすことがあり、これらの機能中枢は視床下部に存在する。とくに摂食障害は思春期の疾患として重要である。また、先に触れたように心身両面に顕在化する性衝動の発現は思春期に特徴的で、自我に同化しきれないもの、自分ではどうすることもできないものと感じさせられる厄介なものである。とくに、直接的に性衝動を行為化することがタブーとされている近代社会の中ではその行動は規制されている。

これらを全体的に調節しているものは、前頭前野を含む大脳皮質から辺縁系への制御システムである。それと同時に、前脳基底部や脳幹レベルから脳の上位中枢に広範囲に影響を与えている、ドーパミン (DA)、セロトニン (5-HT)、ノルアドレナリン (NA) などのカテコールアミン系・インドールアミン系、それにアセチルコリン系からなる広汎性投射ないし液性の調節機構がある。

アセチルコリン系へのリンクとアミン系－再訪

本書では、アセチルコリン系については、カテコールアミン系(23 節)やインドールアミン系(24 節)のように、項を立てた記述をしてこなかったが、線条体（５節、23 節)、前脳基底核･大脳皮質（９節、52 節)、脚橋被蓋核･上丘（35 節、38 節）など各々の箇所で言及されているので併読されたい。

脳内におけるコリン作動性神経経路について大略を示す。二つの系統があり、①　前脳基底部にある神経細胞群である、前脳基底核、線条体から大脳皮質、海馬、扁桃体に投射する経路、②　橋（pons）領域にある神経細胞群である、脚橋被蓋核 (PPN) から a) 上行性に間脳諸核へ、b) 下行性に脳幹、小脳へ投射する経路が知られている。

アルツハイマー (Alzheimer) 病患者では、脳内のコリン作動性神経の機能低下が認められ、新皮質、海馬、嗅脳では、ニコチン性アセチルコリン受容体（nAChR）の数が減少している。そして、抗コリンエステラーゼ剤が臨床的に試みられてきた。因みにアセチルコリン受容体はニコチン性（nicotinic、nAChR、イオンチャンネル型：α，β，γ，δ，ε）の他にムスカリン性（muscarinic、mAChR、G 蛋白質共役型：M1 － M5）も新皮質、海馬、線条体、上丘を含む脳全体に広く分布しているが、その発現部位に関しては、①どの神経投射系にか、②シナプス前終末かシナプス後膜にか、③血管壁内にか等々の細かい点で、分布の量的問題も含めて、今後の課題が残されている。従来 nAChR は骨格筋や自律神経節に、mAChR は脳や副交感神経支配臓器にあると理解されてきたが、なお解明されねばならない点が、とくに臨床医学との薬理学的関連において、多く残されている（Yamada et al., 2001; 宮里、2001; Sarter and Parikh, 2005)。

なお、神経ペプチド、アミン、ホルモンについては第 8 章（とくに 23 節－ 25 節）で、主に基礎医学的な側面から考察したが、ここで神経ペプチドについて、その臨床的側面とくに子供の脳の発達に視点をおいて取り上げてみたい。ヒトにおいても、他の動物に見られるように、セロトニン (5-HT)、ノルアドレナリン (NA)、ドーパミン (DA) を刺激伝達物質とするアミン系神経系にも、脳の発達過程の特定の時期、すなわち臨界期または臨界齢と呼ばれる時期、にその神経回路形成とその機能発現のために働くことが決定的に重要であることが明らかにされている。以下に、最近の瀬川グループの研究報告をもとに要述する (瀬川、2004)。

１．自閉症の病因となる生後 4 ヵ月までの概日性睡眠・覚醒リズムの形成に関与する 5-HT 神経は、胎生早期 20 日までに発現し、辺縁前脳部のシナプス形成に関与する。これらは母子関係、環境順応能、本能行動の発現や大脳左右脳の分化に関わる。

２．胎生早期に発現わするＮＡ神経は、小脳プルキンエ細胞・歯状核の発達、扁桃体の機能発現、記憶処理機能の制御に関わる。

３．さらに、5-HT 神経系とＮＡ神経系は、ロコモーション（とくに乳幼児の這いはい・二足運動など上下肢の協調運動からなる移動運動）機構を発達させ、乳幼児後半から幼児期にかけて、大脳部位別機能分化と前頭葉機能の発達に関わる。すなわち、ロコモーションは脳の各部位でアミン系神経系の活性を亢進させるが、早期のロコモーション（這いはい）に関与する系はコリン系の脚橋被蓋核の活性化を介して黒質－大脳基底核ＤＡ系を活性化する。

４．ＤＡ神経系の異常（活性低下）は、ロコモーションに関与する 5-HT 神経系と NA 神経系の異常に遅れて発現し、その活性低下に続発して DA 受容体過感受性が出現わする。このＤＡ神経系の異常は脚橋被蓋核の異常に起因すると思われるが、これが大脳基底核と視床を介して、前運動野ならびに補足運動野の機能の障害をもたら

す。

５．レット症候群、トゥレット症候群（別名ギル･ド･ラ･トゥレット症候群）、運動チック・発声チック、注意欠陥多動障害）とダウン症候群（21 番染色体のトリソミーを持つ知能障害）の病因となる乳児期後半の昼間睡眠の残存、ロコモーション発達障害に関与する脳幹アミン系神経系は、胎生後半に発現し、胎生 38 週にその臨界齢を有し、大脳のシナプス形成に関与する。なお、DA 神経系および 5-HT 神経系はレット症候群の発症に関与し、幼児期に臨界齢を持つ。

高次脳機能の発達過程には遺伝的要因と環境要因がともに重要な役割を演じているが、乳幼児、児童、青少年の成長・養育・教育の問題のみならず、精神医学の抱えている社会的問題とも深く関わる問題であり、これらの解明は今後の大きな課題である。

「内面の他者」の発見

思春期は上記の事象が脳の機能として未熟な発達期から成熟の段階に向かっていくプロセスの時期である。健全な脳機能の発達という視点から考えて、この時期における身体的並びに精神的「栄養」の授与は大切なことである。ここで、成熟形成期の脳の所有者が生活する上での青少年非行や学校教育や社会全般の問題について考えてみたい。ヒトは単なる生き物である以上に、社会的動物であることを思い起こして欲しい。上述したように、脳の最高部位中枢である前頭前野が、下部構造をコントロールしながら活動する過程が、発達心理学的に自我形成・自己同一性を確立する時期に一致する。思春期は内的にも外的にも疾風怒濤 (Sturm und Drang) の時期で、心の中にとてつもない大きな葛藤が生まれる。この心身共に変動する時期に、家族における親子の関係および学校における教師と生徒の関係においてのこれまでの価値観が動揺し、時には崩壊し、再編を迫られる。少年期から青年期へと発育する過程で、自我を確立すると同時に人間は社会的存在であることを自覚し、「私」の中に「私達」を持たねばならぬようになる。つまり、人との交流、社会での常識や集団の中でのルールや責任を身につけることが要求される。この「共同体」こそが自己を確立する媒質であることを認知するのである。脳の後連合野の発達段階から前連合野の発達段階に発展・成熟し、内省の基盤である言語機能が完成に近づく。そしてこの「内省」により「内面の他者」を発見し、自我の形成が促される。

58 節　医療と教育―思春期の危機

犯罪と生命の尊厳

現代の社会環境は子供の教育と福祉をめぐる状況を含めて深刻である。つめこみ教育と競争主義､不登校や「いじめ」､校内暴力など、教育および保健の環境は憂慮されるべき状態にある。この中で、生徒の目標を自分の成績順位にかけて競争させ、偏差値という単純な形で青少年を選択するから、ややもすれば、彼らは自主的に勉強することに興味を失うようになる。こうした状況の中で「学校は行くに値するのか」､「この世の中は生きるに値するのか」という彼らの問いに社会はますます答えられなくなってきている。

学校崩壊や少年犯罪の原因を、少年の素質や教師の質の問題としてのみ捉えるのではなく、戦争をはじめとする暴力の文化と弱者を軽視する（いじめる）風潮が蔓延る社会環境を是正すべき問題として捉える必要がある。不幸にして、20 世紀にはかつてない犠牲をもたらした二度の世界大戦があった。民族の抑圧、ファシズムの暴虐、化学兵器・核兵器の出現による大量殺人、侵略と虐殺などの戦争の違法性に対する人々の良心は麻痺してしまった。歴史的には、戦争が合法であるとした第一次大戦とロシア革命より以前の時代に歯車が逆戻りした状態にあった。

第二次大戦後も局地戦争は世界の各地で続いている。朝鮮、ベトナム、アフガン、イラクにおいて、貴重な人類の遺産である古代文明が破壊され、残虐な無差別殺戮の戦争により、生命の尊厳（シュワイツァー博士のメッセージ参照､後出､60 節）が踏みにじられ､人間の精神も､たとえば重篤な PTSD の発症にみるように、以前にも増して深刻な事態に直面している。仏教を取り入れた聖徳太子の時代 (604 年) に第一条に「和を以て貴しと為し」と和合の精神を訓じた十七条憲法を、また現在は二度と戦争の過ちを繰り返さないという誓いを第九条に明記した世界に類のない憲法をわれわれは持っている。この書物が出版される予定とされた２００５年は第二次世界大戦の終結６０周年にあたっており、決意を新たにするものである。またこの年は、シュワイツァー博士の没後４０年でもあり、戦争の廃絶を訴えた「ラッセル・アインシュタイン宣言」の５０周年にあたる。とくに身体・精神障害者に対する医療と社会生活および環境の生物に及ぼす影響について関心を持つ者は、豊かな福祉と平和の文化を築くべく一層の努力をすべきである。

また、人倫を説く為政者が倫理上の問題を起こし、現代の社会は、長時間労働が野放しにされ、リストラと大

量失業、貧富の格差、環境破壊等々多くの矛盾を抱えている。罪を犯した少年への教育的、福祉的措置を中心にした対応をしなければならないが、この犯罪の原因の多くは少年をとりまく社会環境の劣悪さや少年が未熟な発達段階にあることにその一因がある。厳罰主義では少年犯罪は無くせない。

青少年期に彼らは、自・他の関係の不協和に悩み、自分を表に出さない傾向を保つ。他の「優等生、よい子」に対して無視・「切り捨て」・「いじめ」をする一方、自分としては「優等生、よい子」でいなければならないという矛盾を持つ。自分の欲求や不満を表わすことができず、常に本当の自分でなく仮の自分であり、ずっと張りつめた状態を続けている。この精神状態が長く続くと、不安、焦燥、情緒不安定、強迫神経症、不眠、自律神経失調症に陥る結果となる。

社会環境のゆがみ

最近、わが国においても、少年少女による重大な犯罪が頻発し社会に衝撃を与えているが、これらの犯罪行動には、家庭、学校、地域などにおけるさまざまな社会環境のゆがみが映し出されている。一見「普通の子」に見えても、心身の発達過程にある子供たちは、とくに情緒面で、重大な問題を抱えている可能性がある。かれらの環境を改善し、整えていくのは教育、医療、福祉、政治、経済などさまざまな分野で活動している大人の、そして社会全体の責任である。

生物学的には、脳幹の液性伝達物質の調節障害、大脳新皮質から辺縁系や視床下部への制御・調節の障害、さらには社会的道徳形成の座とも言われる前頭葉、およびそれと広義の大脳基底核－視床を含む神経回路の機能障害を思い起こさせる。抑うつ症状、不安緊張状態、社会恐怖症、対人恐怖症、パニック障害（広場恐怖を含む）、強迫性障害、注意欠陥・多動性障害（ADHD）、性格異常行動、（非行が繰り返される）行為障害、（精神機能の不均衡や失調が想定される）解離性障害、統合失調症様状態などのうち、薬物療法に抵抗性を示す一部の疾患では、「思春期危機」を実感させるさまざまな心理的、社会的要因が錯綜して社会適応を非常に困難にしているものが多い。平和と安寧の問題は教育・医療・福祉環境と直接結びついており、教育・医療・福祉関係者は生命に関わる社会問題としてこれらに対処していく努力を続けていかなければならない。生物学的面からのアプローチとしては、暗記型の詰め込みの「反射的」学習の結果を互いに比較し、競争させる方法を変えて、それを「後連合野の活動」と「前頭前野と大脳辺縁系の活動」とを蜜接に結びつけて、学ぶ喜びを実感させるやり方を追求する方向に向けることである。、そのためには国家の財政的、人的支援体制が必要であることは言うまでもない。ここにおいても、神経科学の研究成果を取り入れることによって、教育学、病理学的研究と共に安全かつ有効な方法を開発することに努め、教育・医療制度を一層充実することが望まれる。ここでも、それを根本から支えている、生命のリズムの神経基盤である「脳幹の活動」に思いをいたし、「脳のリズムの変調」をきたさぬよう、「自然のリズム」に自分のからだを一体化させることが大切であろう。生命の尊厳、ヒトを殺す犯罪を憎む心、極悪の犯罪である戦争の廃絶、核兵器の製造・保有・使用の禁止の運動目標は医療を進める上で科学的根拠をもつものである。

豊かな情操教育

次世代を担う子供の教育の重要性は、いまさらここで強調するまでもない。ニューロンが作り上げる神経網 (ネットワーク) は、臨界期と呼ばれる脳が成長・発達するときに重要な時期に入力される感覚刺激ないし感覚情報によって、すなわち適切な環境要因と教育によって育まれる。人間の高次神経活動、すなわち精神活動が創り出す最高次の産物である芸術・文化は自己規律が築かれた社会の中で豊かな人間性が育まれた子供の脳が正しく働くように教育されて成長した人間の集団によって形成され継承されるものである。それは大脳皮質連合野の活発な活動があって初めて、単なる観察を超えた美的対象を認知し、断片的ではない知識を獲得して、社会や自然の仕組みを系統的に理解して、物事の道理を認識し得るようになる。そしてそれが、辺縁系の正常な働きによって、情操豊かに面白く学べるように裏打ちされてなくてはならない。

59 節　社会史的動物としての人間の脳

動物進化と脳の発展

子供の脳の働きは、幼児期、児童期、思春期とその発達段階を経て大人の脳の働きに近づき、時間をかけて成長・成熟し、自我の形成を俟つて完成する。長い系統発生的経過のなかで感覚細胞からの刺激を受け取る神経細胞（ニューロン）が網状、梯子状さらに前方優位に神経節という形をとって塊状に集合し、さらに背方に管状に中枢神経系といわれる脳と脊髄の原基が形成され、サカナ、カエル、ヘビ、トリ、ついで哺乳類の脳へと、末梢神経を通して環境からの感覚情報を全身から集め、認知

し、判断し、その結果を全身に運動系統を通じて外界に働きかけることによって脳、とくに大脳が初期の２倍、３倍と大きくなり、その内部構造、構成、従って機能が複雑化し、このように、サル、チンパンジーからヒトへと動物の脳は形成され発展してきた（大脳化）。

その過程の中で相互作用的に、他の 動物とは質的に異なる高度の機能を発揮し得る人間の脳は、社会生活を営む中で神経系の成熟という形をとって進化した（人間化）。以上の系統発生学的な動物の発達は、個体発生的に高等哺乳類の発達に「反復」されており、ヒトにおいて、すくなくとも思春期までは脳は形態学的に発達をし続ける。この点、生後まもなく親と似た行動を取り得る脳の保持者である下等な動物とは異なっている。ヒトは二足歩行によって自由となった両手を使って道具を使用し、それを改良することができた。そしてヒトは気道内の自由空間を獲得して、子音など複雑な音声を発すべく舌・口腔・鼻腔・咽頭・喉頭の微妙な運動を可能にした。さらに、情動脳の上に認識脳たる新皮質、とくに前頭葉を著しく発達させ、社会生活の中で労働を営む過程で音声言語をコミュニケーションの手段として、原始的生活の時代から獲得した知恵を子孫に伝え、その文化的発展を次世代に伝えるべく、長い時間をかけて伝達を可能にする記号体系、わけても文字言語を作り上げてきた。

サル、チンパンジー、ヒト

ここで多少の寄り道をして、太古の昔に戻り、生物進化ないし社会史的面から概観してみよう。ダーウィン以降に明らかになった進化の歴史を単純化してみると、サル→チンパンジー→猿人（アオストラロピテクス）→原人（ピテカントロプス）→旧人（ネアンデルタール）→新人（クロマニヨン）へと、東部および中央アフリカで数百万年前に動物社会から抜け出して社会的生産の意識を持ち始めるヒト誕生への歩みが、最近の発見により一直線に生息地域に同時的に起こった現象ではないことは明らかではあるが、大筋このように発展してヒトへの進化は成し遂げられた。サルの社会はボスを頂点とした、家父長的支配社会である。故に、それを引きついだ形で成立したヒトの原始社会を考えてみることはさほど不自然なことではないであろう。ヒト社会に移行する前のサル社会のコミュニケーションはどのようにして成立していたのか。その社会では、相手を攻撃したり、あるいは、敵から身を守るような時には、単純音の不連続的な合図、指示、命令という信号としての原始言語（ことば）の形態であったと思われる。ここでは、集団社会を維持するという、いわゆる仲間に対する呼びかけとして、音の素材が生活と一体となって形成されてきた、或る音程をもった呼びかけがなんらかの意味・意図・意志の伝達に有効であったことは容易に想像できる。

原始社会にみられるコミュニケーション

このように、発音・発声に際していわば語感、情感、感情といったものが記号に付帯され、リズムの響きも生じた。この原始（的）社会において、コミュニケーションの手段として、共通の合図、合意となる信号（言葉）が形成され、そして使用された。このようにみてくると、言葉の発生は、認識論的な理性の結果として生まれたと結論づけるよりは、むしろ、太鼓やラッパや笛を合図としてかき鳴らす情動的な背景と結びついて生まれてきたコミュニケーションの手段と考えた方が自然である。その背景は何かと考えてみると、ボスの側からみると集団を支配して他の集団に対抗する必要がある。そのためにはマインドコントロールをする必要があるので仲間の交流（コミュニケーション）の一部が支配者と被支配者という上下関係に組織上の必要性から変貌した。快く聴覚系をなごませる音というよりは、むしろ、太鼓やラッパの音は皮膚感覚に訴える臨場感あふれる刺激的な音である。その状況下で巫女やシャーマン達の抑揚ある独特なリズム音と踊りを伴う支配性や宗教性への利用が生まれた。最初期の人類の社会はこのようなサルの社会を引き継いだボス言語とリズム音楽が結合したものであったように思われる。これは、やがて発展する自由人と奴隷との区別が生じた奴隷制度社会であるエジプトやギリシアの社会にも原形として映しだされる。縄文時代、弥生時代のわれわれの祖先の集団社会も、同様な発展段階にあったと思われる。支配階級にみられるこのような音楽と言語の結びつきとは対照的に被支配階級にあたる一般庶民社会はどうであったか。

豊かな発達を目指した科学的教育

上から与えられたものの他に、民衆自身に染みついた、土着の言語の音楽化ないし音楽の言語への融合現象を持つものも当然存在した。それは祭りの時に歌われる労働の歌であり、かけごえの集団歌であり、収穫の歌に発展する原形であった。それらは民衆のコミュニケーションの場に、農地、魚池を中心とする地方の民謡＊として残っている。現在、遺跡が発掘されて猿人、原人の群集生活があきらかにされつつあるが、コミュニケーションの原型 (Urgestalt) をここに見ることができよう。このような言語を媒介とした知的操作を可能にしたものは、単に生物学的な変化やルリアの第三機能ブロック系（前述、47

節）活動 [Luria, 1973] にあるとするのみでなく、社会生活の中で言語的環境にあったからこそ初めて養育されて、ヒトが人間たるべくそれにふさわしい脳を備えて成長し得たという点に注目されて然るべきであろう。４－５歳頃に親の養育から離され、人里はなれたアヴェロンの森で１２歳相当まで四足獣のなかで生活していた野生児が、発見当時および人間社会に戻った後の行動の変化が明らかにしたものは、人間の脳の発達は条件反射理論に基づく環境要因との接触という、歴史的・社会的経験の獲得ということが如何に重要であるかを再確認させるものであった。社会的動物としての人間を対象として、条件反射理論を教育の問題に科学的に適用するに際して、本書でこれまで考察してきたことを念頭に、他の動物とは質的に異なる、より発達した精神機能、すなわち、認知、情動、意欲などの機能を如何に人間的に発揮／発現せしめるかということに心して、計画的に養育に取り組まねばなるまい。とくに子供に関しては、子供の発育、脳の発達に応じながらも、常に高次機能のより豊かな発達を目指した教育を施さねばならない。

60 節　　生命への畏敬（シュワイツァー）―人間の高められた精神

「生命に囲まれた生命」

生物学的に見ても、いわゆる辺縁系の機能とされている「情と意」、すなわち精神活動の根源をそこに定位づけ、人間の活動の中核を支えるものが脳幹・脊髄の機能と直接的に結びついた「生命」の力であると言えよう。　根源的なものに遡って見れば見るほど、生命の力がなければ人間の精神活動も不可能であり、また精神の活動と呼ばれるものの最終的な目的が生命の力の維持であり、ヒトの生命の意味について考えるべきことである点が明瞭になって来る。つまり、こうしたヒトの活動、生命の力、別の言葉で呼んで「生命のリズム」こそが根源的なものであり、情動・意欲の生命機構を働かせ、さらに大脳新皮質の認知機能を活性化させ、とくに前頭葉が関わる高次神経活動、すなわち脳髄を総体的に活動させた精神機能を発現させるものであろうからである。

シュワイツァー (1875 ～ 1965) (図７８）の言う「Ich bin das Leben, das leben will, um das Leben, das leben will」（われは、生きんとする生命にとりかこまれた、生きんとする生命である、竹山訳）という、生命への畏敬 (veneratio vitae) を詠った言葉も将にこうした「人間」を捉えて余りある。アフリカに在り、いやひとりの医師として、また文字通り「人間」として生を全うしたシュワイツァーにとって、それはまず何よりも自己の周囲にあって生を求める生命＝人間そのものの尊厳を問い、ともすればそれを忘れる近代社会への警告を訴えるものであったに違いない。

シュワイツァーの愛したバッハの音楽

一個の医師として、ひとりの患者を診ることは、一個の生命の前に立つこと以外の何ものでもなく、自己の前に在る生命のために自分は生き、またそうすることによって、自己の前に立つ「人間」に「生命」の尊厳に目覚めて欲しいというメッセージがこの言葉となって結実した。勿論、生命への畏敬を詠んだのはシュワイツァーひとりではない。そもそも「人間」という「個」にして普遍的な存在の中に流れて止まない生命の力を彼は見つめたのであり、ソクラテス以来の道徳哲学とキリスト教的倫理思想の長い歴史の中に彼は立っていたのだと言えようし、それこそシュワイツァーその人が愛して止まなかったバッハの音楽をはじめとする優れた芸術が存在するのも本来そのような畏敬へと人々を導くべき使命を負ってのことであった。赤道アフリカ・ラムバレーネの病院で、暑さの中での一日の労働を終えたシュワイ

（図７８）図１２－６０：ランバレネの病院内（消毒小屋が後ろに見える）を回診中の医師シュワイツァー（野村実氏より頂戴した貴重な 1970 年代の写真）。

注：

これらの民衆音楽の中に言葉と情緒とが結びついた直接的発展としての音の響きやリズムを感じとることができる。たとえば、黒人社会が米国をはじめ西欧諸国にあたえた spirit としての黒人霊歌。ジャズ、ルンバ、タンゴの民衆性。開放された民衆のエスプリをもつシャンソン。また、北欧のカレワラ民謡伝承歌、ハンガリーのジプシー民衆歌、ロシアのバラライカ、ブラジルのサンバの歌と踊り、大和の古代歌謡やアイヌ民族のユーカラの調べなどの神話や伝説の色彩の濃い原始民族時代の声楽（ついで古代楽器）等々はこのようにして、民衆の間から生活を基盤にして発達してきたのであろう。

ツァーは夕食の後に、パリのバッハ協会から贈られた古色蒼然としたピアノを弾いてバッハの生命の旋律を夜のしじまに響かせていたと言う [野村、1961]。シュワイツァーはゲーテ第百回忌祭典記念講演（1932 年 3 月 22 日）の中で、フィレモンとバチウスの小屋を焼きつくした、非人間的根性を持った悪魔メフィストの殺戮と無法と暴虐に対して、生命への畏敬に共感する人間性に基づく抗議と警告を強く訴え、最後に次の言葉、「願わくは――人類の生活が再び調和的な、自然的な生気ある動きの中で流れてゆく時代が、あのバッハ音楽のような――そこにゲーテが自分の精神の影を見いだし深く感動したバッハ音楽のような時代が・・・」を添えて締めくくっている [シュワイツァー、子栗訳、1949]。これまで本書の中で、とくに芸術との関わりの中でしばしば強調された人間精神の「正しさ」と表現されているものとこれは軌を一にするものである。

理想主義的な語りかけになったが、生命の維持を基本にした社会性、すなわち人間らしい「普通の」生活とは、脳の情動機能と認知機能を存分に働かせて、情操豊かな文化的かつ健康的生活を自分の意志に基づいて前頭前野を働かせて、能動的に、かつ自然のリズムとハーモニーに則って、脳幹、小脳、辺縁系を含む脳髄全体を活動させて生きることであろう。如何なる形式の芸術にしろ、情動機能が生み出すものと認知機構が作り上げる思索の産物とが結びつくとき、脳は最高傑作を創り上げ、それを受容する精神を活性化させる。われわれはその精神をバッハやモーツァルト、ゲーテの作品の中に、そしてまたシュワイツァーの活動やその活動の中から発せられた彼の言葉、思想の中に見る。人間における教育と精神医療の目指すところはこの延長線上に在ると考える。

シュワイツァーからのメッセージ

以下に、第一 5 回日本医学会総会（1959 年）に寄せられたシュワイツァー博士からのメッセージを掲げる（なお訳文は、日本医師会の作になるものであり [　] は著者による付加である）。

Ich begrüsse es, dass der grosse Kongress der Ärzte Japans, sich auch mit der Schaffung des Geistes der Humanität und der Rolle, die in diesem Unternehmen den Ärzten zufüllt, beschäftigen wird. Wie gerne wäre ich bei den Verhandlungen zugegen. Leider kann ich zur Zeit Lambarene nicht verlassen. Es ist meine tiefe Überzeugung, dass wir Ärzte, die wir uns um die Erhaltung von Leben bemühen, in besonderer Weise berufen sind, die Menschen zur Ehrfurcht vor dem Leben zu erziehen und dadurch die Menschheit zur höheren geistigen und ethischen Gesinnung gelangen zu lassen, durch die sie befähigt werden wird, die schweren Probleme unserer Zeit zu verstehen und zu lösen.

（このたびの日本医学会総会が、人道精神の発揚と、そのために医師の負うべき役割りとを、課題の一つとして採り上げられたことを、欣快に思います。私自身、これらの討議に出席できたならば、どんなにうれしいかと思いますが、残念ながら、私は目下ランバレーネを離れるわけにはまいりません。私のふかく確信するところによれば、生命の維持に力をつくすわれわれ医師は、人々に生命の尊厳を教え、またこのことによって、人類を精神的、倫理的に一層 [の高みなす情操へと] 高めるべき特別の使命を帯びているのであります。そしてこの高い精神によってこそ、現代の多くの困難な問題を理解し解決する力が人類に与えられるであろうことを、私はふかく信ずるものであります。）

先の生命・倫理と共に博士ならではの重みのある呼びかけである。ただしこのメッセージを単に医の倫理の面からのみ読んだのでは一面的になるであろう。シュワイツァーの生きた時代のヨーロッパないし世界が実際にどのような状況にあったか、その政治社会状況と、その状況下に置かれた人間と人間の精神が如何なるものであったかを併せ考えて、はじめて博士の言うところは理解されるであろう。二つの大戦によるヨーロッパの没落の時代に、シュワイツァーにとって政治・社会的意味での没落は「人間の没落」に等しかった筈であり、その「人間の没落」を人間が自らの手によって、かつ情熱を傾けて行なったところにこそ博士の説く人倫の道はその端を発していることを忘れてはなるまい。確かに戦争は科学に、また等しく医学に大きな貢献をするという面を持っていた。そのような本質的に在ってはならない研究を傍らに、「生きることを意志する生命」として在らねばならなかった重い心を測る術をわれわれは持たない。ヨーロッパの言語において、博士がこのメッセージの中で用いた「人倫」Humanität は何よりもこのような文化の野蛮に対して在るべき人間の姿、人間の歩むべき道を意味するものであろう。

メモ：
Höher stets höher !
Laß deine Träume und Wüunshe steigen,
Das Ideal, das du erreichen willst,

Höher stets höher !

(高くそして高く！　夢と願いを掲げ、理想を追って、どこまでも高く！)

ランバレネの病院の壁にあるシュワイツァーの座右銘。この詩に影響されて、20 歳代に著者が詠んだ詩「赤い風船」、いささか懐古的ではあるが。

(高くそして高く！　夢と願いを掲げ、理想を追って、どこまでも高く！)

ランバレネの病院の壁にあるシュワイツァーの座右銘。この詩に影響されて、20 歳代に著者が詠んだ詩「赤い風船」、いささか懐古的ではあるが。

赤い風船
孤独な少年の
心を捕らえた大きな夢
真実そのものの
無垢な赤い風船
それは少年が一度
掴んだ理想だ
時に少年から離れ
又つきまとう
赤い風船
そして理想

風船を追う少年の
心身を苦しめた
同輩たちの嘲弄
雑輩れんの冷笑
蘇苔（こけ）どもの邪魔
そして淋しくしぼんでゆく風船
ふみにじられた夢
少年が失意にみちて眺める
赤い風船
そして理想

じつと堪えている少年の
とび色の目は捕らえた
あらゆる世の中の風船が
どこからとなく
飛んできたのを
その赤黄白
緑青の大群と
一緒に高く
高く少年はのぼる
美しい理想を追って

川村光毅、楊柳、1957 年

約 40 億年にも及ぶ地球上の生物進化のドラマを振り返ってみると、細胞レベルの段階から始まり、単純な多細胞生物から進んで、神経系統にとくに著しい発達を遂げた脊椎動物において､「命」の根源たる種々のリズム（前出、第 9 章）の発現の場であり、反射活動や呼吸・血液循環など自律調節系の活動を司る脊髄・脳幹のレベルにおいて、ヒトを含んで動物すべてに等しく、生命の根源を宿している。この脊髄・脳幹レベルの層が、ひとつ上の階層に属する本能行動・情動行動を駆動する大脳辺縁系の層を支えている。最上層に属する大脳皮質とくに新皮質は、爬虫類で出現し、哺乳類とくに高等霊長類で著しく発達し、ヒト（＝人間）の段階になって言語野を持つに至るという進化の歴史はこれまで再三にわたって考察された。

61 節　脳と精神はどこで出会うか

動物の情動と人間の情動

人間以外の動物の情動は、皮質過程と皮質下過程の条件結合によって決定された反応であり、言いかえれば第一信号系と生得的反射の相互関係という特徴を持っている。 これに対して、人間の情動は第二信号系が介入することによって、観念あるいは言語による抽象作用の意味をその中に含んでいる。すなわち、人間の段階に達すると、高次神経活動の機構の中に、人間にのみ特有のものである音声言語と文字言語の形をとった第一信号系を信号化したシステム、すなわち第二信号系が出現し、発達する。人間における情動と認知とは、その精神に客観的実在を反映させる意識のもつ異なる側面である。

人間においては、認知機能は言語の発見により概念・観念の形成を可能とし、しかもその中に多かれ少なかれ情動的色調を持っている。人の脳の働きにおいては、言語機能を制御・調節する大脳皮質連合野の活動は辺縁系の活動と密接に結びついており、この新皮質と辺縁系皮質との形態的結びつきは動物が高等になるほど強くなる[川村、1977]。「観念なしに情動はなく、逆に情動のな

い観念もない」という脳の働きの所有者（＝人間）の集団が存在する段階になって初めて音楽、美術を含む芸術一般、さらに文学や学問一般などの知的財産を共有する社会の文明・文化は成立し、発展したのである。これらの芸術・文化を自由に享受するための条件を人間は共同生活の中でのルールの制定とそれを遵守する社会制度、すなわち政治の責任において整えねばならないことを自覚する。

精神病は不自由病である（臺）―　その制約を取り払う努力

臺は行動科学的な研究と日常的な臨床経験から「精神病は不自由病である」というキーワードを生み出しているが、これは決してハインロート流のロマン派観念論の立場からのテーゼではない。障害者にとっての不自由(感)を軽減することが精神科治療の主要な目的であるとし、現在行なわれている①生活療法（作業療法）、②薬物療法（身体療法）、③精神療法（心理療法）を互いに補い合ってすすむものであるとして採り上げている [臺、1999]。精神障害を高次神経機能の障害に起因する精神活動の異常と考えれば、上記の諸療法を行なうにあたっての治療の目的は自づから明らかである。

臺の名著『精神医学の思想』（1999）の第Ⅳ部にまとめられている主張に沿って、上に考察してきた現在の神経科学の成果に基づく筆者の見解を重ね合わせてみる。①前頭前野の適正な働きは共同社会の中での能動的活動ないし作業を保障するものであり、生活療法を通じて「考えや行動の選択の自由」を可能にし、「不自由な生活習慣の中に新しい経験を習得し、それを活用して不自由度」を減らすものである。つぎに、②辺縁系と新皮質の共同の働き（logopathos/pathologos、情動と認知）は、ニューロンとくに皮質神経細胞を(保護)抑制し、薬物療法を通じて「脳の興奮・緊張の束縛状態から自由解放」させ、情操を豊かにし、行為をポジティブに評価する報酬系を賦活して意欲を高めるものである。最後に、③脳幹・脊髄部位には生命を支えるリズムの中枢があり、自然（コスモス）と身体（とくに自律神経系、ホルモンやサイトカインなどの液性・免疫系）との調和は、精神療法を通じて鬱屈したこだわりを晴らし、気持ちを明るくして、「自由の拡大」を目指すものである。そして、このような精神科治療の３本柱を人生行路を導く器楽合奏に譬えて、①生活療法は演奏の技能訓練、②薬物療法は演者と楽器の整調、③精神療法は指揮と調和であると解説している [臺、2003]。

精神科治療との関連で、経験も浅い上に、フィールドの実績もない筆者ではあるが、勇気を奮って、いささか感していることをここに記しておきたいと思う。それは上記①の生活療法（作業療法）の延長としての社会復帰に関わる問題である。わが国では百年前に "精神病者監護法"(1900) が制定され、精神病者を私宅あるいは癲狂院に監置（監禁）することが公認されていたが、その実情を調査した呉秀三（1866-1932）によって、「我邦ニ於テハ官公立病院ノ施設ホトンド全クコレヲ欠キ、コレガ代補タルベキ私立精神病院ノ収容力モ亦甚ダ貧弱ニシテ、全国オヨソ十四、五万ノ精神病者中、約十三、四万ノ同胞ハ実ニ聖代医学ノ恩澤ニ潤ハズ。国家及ビ社会ハコレヲ放棄シテ弊履ノ如豪モコレヲ顧ミズト謂フベシ」[呉と樫田、1918] と批判される状況であった。呉は、同時に、反人道的な国家的恥辱であるとして、私宅監置の廃絶を提言した。戦後 1950 年に精神病者監護法がようやく廃止となり、精神衛生法が公布されたことにより、私宅監置が禁じられ、入院医療が主軸となった。しかし当時の実情として精神病床数は絶対的に不足していた。半世紀を経て、精神保健法（1987、1993 改定）および精神保健福祉法（1995）が運用されている現在、精神障害者のための生活訓練施設（日常生活に適応するための訓練をする）、福祉ホーム（居室を安く提供する）、授産施設や福祉工場（精神障害者の雇用、社会適応を目的とした訓練・指導を行なう）、それに地域生活支援センター（地域における相談・助言・連絡調整を行なう）などの社会復帰対策がとられている。隔世の感があるとは言え、現実の日本では、なお 約 33 万人ともいわれる精神病院に入院中の患者（2003 年 6 月現在、2005 年「国民衛生の動向」より）の内かなりの人たちが「社会的入院」であり、治療的意味での軽作業に従事することが可能な状態にあるにもかかわらず、それを受け入れるべき生活居住施設が著しく不足している。先の呉の批判と提言の延長として、発達した次元における意味で残念なことである。

わが国の社会では、欧米では考えられない「サービス残業（ただ働き）」という名で長時間労働を強いられているという現実がある一方、多くの人たちが非正規雇用（派遣やパート）として働いており、望んでいても定職に就けないという矛盾した状況が続いている。とくに身体・精神を病む弱者はその "しわ寄せ" を受け、「社会的自由が著しく制限」されて、そこから抜け出ることが困難になっている。「此病ヲ受ケタルノ不幸ノ外ニ、此邦ニ生マレタルノ不幸」[呉と樫田、1918] を今や政治の責任で解消すべく、たとえば全国の地方自治体にある福祉事務所の援助の下に、「軽作業福祉工場ないし職業

訓練支援施設」を増設してさらに充実させ、しかもそこでは、世間並みの報酬を得ることによって、辺縁系と前頭葉を活性化させて労働意欲と能動性を高めさせ、かつ患者・家族の「自由度を拡大」させ、「健康で文化的な生活」を送ることができるように、その体制をなお一層整えるべきである。世界保健機構（WHO）が 2001 年の総会で採択した国際生活機能分類（ICF: International Classification of Functioning, Disability and Health）は、「生活上の不自由さ」の背景となる要因（認知機能や情動機能の障害となるもの）を明らかにし、社会機能（social functioning）の評価の一つの方向性を示していると言えよう。わが国においても、今後、少なくとも国が管轄して予算措置を講ずることのできる精神医療の分野において、経済効率と利益第一主義の発想を逆転させることが、「此二重ノ不幸」を解消するために必要である。これと相俟って、社会復帰を目指して、精神障害者に対しての医療・保健・福祉・教育を包括した、自立した生活を目的とする、精神科ソーシャルワーカー（「社会福祉士」、Psychiatric Social Worker, PSW）、作業療法士（Occupational Therapist, OT）、臨床心理士 (Clinical Psychologist, CP)、看護師、医師、ケアワーカーなどからなる多職種チームによる家族ならびに地域に対する支援活動の制度の円滑な運用が一層望まれる。目指す大きなモットーは、福沢諭吉が説いた、自由と解放を基盤とした独立自尊（自主独立）の精神と実証的・科学的根拠を持った学問　[彼はこれを「サイヤンス」とルビをつけた「実学」という言葉で表現した (慶應義塾記事 ,1883 年、福澤諭吉著作集　5 巻、52-69 頁] である。

脳科学研究の成果を精神医学へ適用する

人間の能動的、創造的活動を支える脳内基盤としては、前頭前野と後連合野の間の相互作用、前頭葉の活性化、意欲の発現とドーパミン作用、大脳基底核―視床―大脳皮質回路の多元性神経並列ループ、脊髄・脳幹から辺縁系さらに大脳新皮質までを包含するリズムなどの問題は折に触れてこれまでに考察された。脳機能をベースとしたパブロフ理論を含む近年の脳研究による成果を武器とした教育、とくに児童、青少年への教育的アプローチ、さらには精神機能の異常を対象とする精神医学への適用はいまや重要な課題となっている。

これまでみてきたように、われわれは動物の心、人間の精神なるものを、脳活動（＝高次神経活動）の産物の総体として位置づけることができる。そして、絵画、彫刻、建築、音楽、文学、科学、教育を含めた芸術と学問によって、つまり広く人間の精神活動の総体的所産によって、人間社会の中で形成され抽象化された概念を理解し創造しつつ人間はこれを次の世代へと伝達することができる。繰り返すが、脳の活動の所産が精神活動といわれるものであり、その具現化されたものが社会の文化を形成する。そして、文化の向上が豊かな人間性を育み、社会の進歩に欠かせないものとして継承される。また、精神の異常ないし病的状態を生物学的に研究することが、精神医学を科学の目で見つめ、障害者が自由と豊かさを享受できるよう環境を準備することに直結する。このような視野に立って、脳と精神の科学を結びつけ、発展させて治療や教育に協同して役立てていく義務と責任がわれわれ一般国民、とくに良心的知識人に、思想、信条、信仰の枠を超えて、すべての教育者、宗教家、研究者、芸術家に課せられている。

ヒトの脳の創造的な精神活動

人間とは何であるかを問い、人間をして人間たらしめているものを見定め、人間は各自の責任において、これを遵守しつつ生きてゆかねばならない。なぜならば、そうでない限り、人間の各自が、人間であることを自ら放棄していくことになるからであり、その意味で脳研究や芸術探求の目的がどこに向けられるべきかに改めて論議の的は絞られるように思われる。ヒトの脳髄は、サルがヒトに進化する過程で目的を設定した能動的行為を可能にし、道具を使用し、言語を獲得し、共同社会生活を営む中で前脳とくに前頭葉を著しく発達させた。そして、その脳は抽象的概念の形成を可能とし、情動と結びついた認知 / 認識作用に基づいた思考をも可能とし、多面的活動の集積としての芸術を創造してきた。このような自然（宇宙）と社会との接触と相互作用という営為の中で形成された長い長い歴史を前提にしてはじめて、ヒトの脳は人間の高められた精神の中核としての地位を獲得し得たのであり、またそうしたヒトの脳であればこそその前頭葉皮質から辺縁系、小脳、脳幹、脊髄までを含む中枢神経系全体の活動の、その所産としての総体が、一個の全体存在としての人間を人間として在るべき形姿、すなわち道具（生産手段）と生産物を所有して、社会生活の中で労働に励み、かつ更なる自由な時間が保障されて創造的な精神活動を行なうという方向へと導き得るのである。神経科学的に見ても発達途上にある人間にとって重要なことは、生命の畏敬 / 尊重の上に立って上記の条件下で、歴史を平和的に推し進める力を備えること、そして脳科学や精神医学の研究成果から生まれる、科学的

教育学などを新たに導入することにより、人間の発達を
権利として保障する準備をさらに進めることである。

第１３章　　エピローグ (Epilogue)、記：丸山桂介氏に感謝する

よい芝居というものは、主たる役者が終幕でノコノコと出て来て、くどくどと述べたりはしないもの（「お気に召すままに」、As you like it. シェークスピア）であるが、この草稿にはここに言い残した文句が必要なようである。

Spoken by Rosalind:
It is not the fashion to see the lady the epilogue; but it is no more unhandsome than to see the lord the prologue. If it be true that good wine needs no bush, 'tis true that a good play needs no epilogue; yet to good wine they do use good bushes, and good plays prove the better by the help of good epilogues. What a case am I in then, that…

お姫さま役者が閉場口上を述べるのは例のないことでして、少々いかがはしうございますが、殿さま役者に口上をいはせるのと、ま、おッつかッつでもございませうか？　由来、美い酒には常春藤の招牌が無用だといふのですなら、佳い演劇には閉場詞なんぞは要らない筈です。けれども、通例、美い酒店には良い常春藤が招牌に掛けてありますやうなもんで、旨い閉場詞は佳い演劇をますます佳くするといふ次第でもございませう。ところで、わたくしはどうでございませう？……（坪内逍遥訳、1934 年、ロザリンドの閉場詞）

著者は、精神医学と神経科学とくに神経解剖学を医学部卒業後約１０年間同時に学んだ。その前半は７：３，後半は２：８位の割合で臨床と実験をつづけてきた。その後、神経科学の分野に９割以上没頭した。そして約３０年の歳月が過ぎた。

長年多くの先輩や同僚に教えを受けてきたが、その中で最も尊敬する２人の学者について特記しておきたい。お一人は精神科医の臺 弘先生で、先生からは１９９０年を過ぎた頃から「精神に進みなさい」と時折励ましの言葉を頂いた。もうひと方は、留学中 (1971-73 年) からの恩師で神経解剖学者の Alf Brodal 教授で、先生からは「機能学は形態学をベースに持たなくてはならない。神経科学の分野は広範囲であり、狭い分野に閉じこもらずに研究できるのは羨ましい。臨床医学とくに神経精神医学の研究を捨てるべきではない。」と温かい忠告をうけた。1987 年、先生は、癌で亡くなられる数ヶ月前、オスロのご自宅に一週間筆者を招き教え諭して下さった。1999 年正月に「脳と精神はどこで出会うか」を、2000 年正月に「ゲシュタルト心理学がおもしろい」という年賀状のメッセージを、臺先生からいただいた。こうして筆者は大学生活の定年 (2000 年３月) を迎えるにあたり、脳と精神の問題について考えをまとめ、それを最終講義で学生たちに披瀝して批判を乞うことを秘かに決めた。そして 2000 年２月 17 日（木）、筆者は慶應義塾大学医学部に於いて「脳と精神は如何に出会うか」と題して講演を行なった。

筆者は神経科学の分野で３０－４０年間、大脳皮質連合野、小脳求心系、脳の可塑性・移植、小脳、間脳、大脳皮質の発生の研究を共同研究者たちに恵まれて、伸び伸びと行なうことができた。精神医学についても関心を持ち続け、時々ではあるが精神衛生鑑定医、精神保健指定医として病院で働く機会を与えられてきた。
脳と精神を結びつけるに際して、筆者は、脳の形態学、発生学的研究の成果の上に立脚して、できるだけ自分が関与した研究を通じて思考し、発表した内容を取り入れて論考すべく努めようとした。脳を研究する自然科学徒として、事実に基づかない観念論的主張は排除しなければならないと考えつづけてきた。己の太鼓を響かせ過ぎるという批判に対しては、それを乗り越えるまでは甘んじて受けるしかない。

このように考えて、1999 年から 2000 年にかけて、なるべく多く、自分の専門以外の分野の発表を聴くことにした。討論にも積極的に参加した。そのような集会の中で、最も実りのあったのは、国際視覚シンポジウム (2000 年３月８～ 10 日、岡崎) であった。筆者自身も「脳の機能と構成における聴覚系と視覚系の特殊性と類似性」という題で発表した。外国から招待された何人かの旧友にも会って最先端の研究内容をじかに知ることができた。この数年間、実感として筆者が得たものは、①高次神経活動のうち認識系に比して情動系の研究が遅れていること、②視覚系に比して聴覚系の研究が遅れていること、③音の響きと情操という要素の上に立つ音楽という芸術／学問について、音楽家、作曲家、演奏家の関心に応えられる確かな研究成果を自然科学者はほとんど持っていないことであった。それ故、この分野で現時点で得られているものを考察していく過程で、脳と精神の問題をまとめてみようと思った。なぜなら、音楽という芸術の表現は、脳の高次神経活動が生み出した精神の活動に一致するものであると考えたからである。

筆者は、脳の形態をベースに機能と結びつけて、これまでに関わりあった研究を再学習しながら、この著の大枠をまとめ上げるという仕事を楽しみながら２カ月余り

で終わらせた。精神医学関連の内容については、臨床感覚が鈍っていた。原著論文を調べて考察することが、にわかにできなかったので、医学部卒業後１０年余の間精神医学教室や病院で勉強した書物やノートの記録や同僚に教えを受けたりして、大筋だけは誤らないように努めて書いた。筆者が最も苦心したのは専門外の音楽に関する知識であった。しかし、これは芸術という切り口から精神についてまで容喙しようとする欲張った本書の趣意上、欠かせない部分なので、幼稚な作文でよいから、自力でひとまず書き上げて形を整えてから先生を探すことにした。

筆者が東京音楽大学の丸山桂介先生に教えを乞うたのは、偶然ではなかった。筆者は丸山氏のバッハ、モーツァルト、ベートーヴェンに関する教養講座を受けていた。ヨーロッパ精神史についても、都内の教会で聴講を受けていた。また、丸山氏も脳の機能について非常な興味を示され、筆者の研究室を訪れ、人脳を前にして初歩的な質問から高度な内容の討論を広範囲に亘り時を忘れて行なった。この交換授業を通じて、相互の知識は深められていった。当初に筆者が丸山氏に示したペーパーは正に小さくまとまった論文であったが、このようにして協働の作業が始まり、さほどに長くはない年月の中で、ペーパーがもとの倍に近い分量に膨張した。この数年の間に神経科学や精神医学関連の新知見が多く発表わされたことと、それをもとに両人が熱心にかつ自由闊達に議論し、思索を重ねた結果であった。当然の結果として、両人は共著者となることを話し合った。脳を自然科学・生物学の側面から実験データをベースに唯物的・実証主義的に探求してきた筆者と、芸術と精神の問題を音楽学の側面からバッハやモーツアルトの思想を探りながら、精神と宗教と芸術の世界に生きてきて、精神の内的世界を思索してきた丸山氏との共著となる筈であった。両者の間に、この書で話題にしている問題に関しての共通した精神の志向があった。しかし実際は脳科学に関する詳細な論が展開されていくに従い余りに脳の専門的論文になってしまい、共著の意味が失われて仕舞ったと判断されたことを主要な理由に共同の作業は断念され、川村が単独でまとめ上げるよう丸山氏から提案された。川村は共著の可能性を探り、さらに強くこれを願ったが、最終的には討議の上、丸山氏の筆により展開された音楽やその歴史や哲学的思考に関する多くの部分を大切なものとして残し、筆者がその記述の内容を大いに参考にして、文体と内容を最小限に改稿する形で、逐一具体的にその了解を厳密な意味で得てない場合が生ずるにしても、これを利用させていただくことで合意を得た。以上の経過により、心ならずも単著出版の形となったが、この作業を通じて音楽について学ぶ貴重な機会を与えられ、丸山氏の主催する東京音楽大学のゼミにも従来通り参加させていただき、氏のご薫陶を得つつあり感謝の念を新たにするものである。このような次第で、筆者 の主張が強く反映する結果となったが、正にその故に、本書のすべての記述・内容については、筆者がその責を負うものである。
最近筆者は、東京シティフィルの合唱メンバーとしてすばらしい仲間たちと指揮者飯守泰次郎氏の下、昨年ヴェルディのレクイエムやベートーヴェンの第九交響曲を、さらに今年は生誕２５０年となるモーツァルトのレクイエムを楽しむことが叶い、深く音楽に接するチャンスを享受している。このことも丸山氏との実のある協働作業があったお陰であることを記しておきたい。

この数年間に筆者は世界精神医学会議（横浜、ウィーン）、生物学的精神医学学会（東京）、英国精神医学会議（エジンバラ、ハロゲート）に出席、また精神医学研究所（Maudsley, ロンドン）、神経学研究所（Queen Square, ロンドン）を訪問して新しい友人たちと交流し、精神医学の最新の研究と治療についての理解を深めることに努力した。そして、日本語で書かれる書物をこのような形で、現段階でまとめておくことが有意義であることを確信した。少なくとも本人自身の研究と診療の心構えを構築するためにも。

執筆の意義について、大上段に構える積もりはないが、少なくとも脳科学の分野で成し遂げられてきた研究成果については、主観的な記述を避けて、執拗に思えるほどに引用文献を明記し先人に敬意を表わすように心がけた。必ずしも当初から意図していたわけではないが、最近流行の出典不明の「素人」向きの「分かりやすい」書き方に対して、不満と物足りなさを感じている「知識人」が、筆者の周囲にたくさん居り、その人達から「ディレッタントになって害を流すべからず」との忠告を受けたことも一因である。そして、医療を受ける社会と直接的に関わる平和と生命の尊厳の問題についても、精神障害者が「不自由」な生活から解放されて勇気づけられる、豊かな社会が一日も早く実現わすることを願って、注釈や関連メモも最終段階で書き加えられた。

謝辞とお願い

実質的な共著者であり、協力者である丸山桂介先生の他に、日頃ご厚誼を賜っている、以下の尊敬する専門家の方々、臺弘、植村慶一、二ツ木啓、元山純、鬼頭純三、福田淳、坂上雅道、鹿島晴雄、川野仁、伊藤正男、小幡

邦彦の諸先生方に執筆の過程で読んで、討論していただいた。そして、具体的な、また包括的な貴重な意見を賜った。そのほか、ここにお名前を挙げられないほど多くの先輩、同僚の先生方に、正確な内容を得るべく、電話やメールでもご教示を頂いた。船戸和弥氏には多くの図を描いていただいた。また、非常勤職員の籍をいただいて、施設と図書を自由に利用させていただいている、理化学研究所、東京都神経研究所、慶應義塾大学医学部（精神科教室と解剖学教室）、ほづみ精神科クリニック、三芳病院の友人の方々に感謝する次第である。精神科医として同僚であり、クラシック音楽と絵画を愛好する妻の孝子には、最終に近い段階で通読して貰い、忌憚のない意見を得た。慶應義塾大学出版会の編集部の佐藤聖氏にも格別のお世話をいただいた。これらの親しい方々に満腔の謝意を捧げつつ筆を擱く。付記すると、本書はわたくしが慶應義塾大学を退職するに際して、すなわち神経科学の学徒からもとの精神科勤務医に戻ったのを機会に、一区切りをつけたいと考え、脳と精神の問題についての執筆を、半ば道楽の気持ちと、半ば精神・神経科医療に役立ちたいという願いを抱いて、スタートさせたものである。時間が大分経ってしまったが、退職記念を祝って下さった友人たちに約束した土産をお見せすることができて幸いである。

この書の弱点は文体が平易・簡明でないことであろう。筆者は 2005 年の冬に、ちょっとした病で人並みに入院生活を余儀なくされた。そのために、最終段階で予定していた推敲を満足にできないまま 2006 年春の刊行となってしまった。しかしこれは言い訳に過ぎず、「明尽きず、平明また尽きず」のレベルには到していないというのが、正直なところである。ここに読者の忌憚のないご意見とご教示をお願いする次第である。注意深く読んでも不明なところがあれば、そこはおそらく著者も理解して書いてないと判断されてご寛容いただきたい。

文献

阿部純一
旋律はいかに処理されるか、In:　音楽と認知、波多野誼余夫（編）1987、東京大学出版会

阿部純一
音楽知覚における拍節的体制化と調性的体制化の過程、脳の科学 24 (2002) 907-923.

Aggleton, J.P.
A description of the amygdalo-hippocampal interconnections in the macaque monkey, Exp. Brain Res. 64 (1986) 515-526.

Aggleton, J.P. (Ed.)
The Amygdala, A functional analysis, second edition, 690 pp. 2000, Oxford Univ. Press.

Aghajanian, G.K.
Modulation of a transient outward current in serotonergic neurones by alpha 1-adrenoceptors, Nature 315 (1985) 501-503.

Ahn, S., and Phillips, A.G.
Dopaminergic correlates of sensory-specific satiety in the medial prefrontal cortex and nucleus accumbens of the rat, J. Neurosci. 19 (1999) RC29.

Aizawa, H., Sato, Y., Maekawa, M., Fujisawa, H., Hirata, A., and Yuasa, S.
Development of the amygdalohypothalamic projection in the mouse embryonic forebrain, Anat. Embryol.　208 (2004) 249-264.

秋元波留夫
実践精神医学講義、pp.1044，2002 年、日本文化科学社

Alain, C., McNeely, H.E., He, L., Christensen, B.K., and West, R.
Neurophysiological evidence of error-monitoring deficits in patients with schizophrenia, Cerebral Cortex 12 (2002) 840-846.

Alexander, G.E., DeLong, M.R., and Strick, P.L.
Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex, Annu. Rev. Neurosci. 9(1986) 357-381.

Allen, G.I., and Tsukahara, N.
Cerebrocerebellar communication system, Physiol. Rev. 54 (1974) 957-1006.

Allman, J.M., Hakeem, A., Erwin, J.M., Nimchinsky, E., and Hof, P.
The anterior cyngulate cortex, The evolution of an interface beween emotion and cognition, Ann.N.Y. Acad. Sci. 935 (2001) 107-117.

Allman, J., Hakeem, A., and Watson, K.
Two phylogenetic specializations in the human brain, Neuroscientist 8 (2002) 335-346.

Amaral,D.G.,Price, J.L., Pitkaenen, A., and Carmichael, S.T.
Anatomical organization of the primate amygdaloid complex, pp. 1-66.　In: The amygdala, Neurobiological Aspects of Emotion, Memory, and Mental Dysfunction, Ed.by Aggleton,J.P., Willey-Liss,1992

American Psychiatric Association: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 3rd ed. (DSM-III). Washington, D.C.., 1988.

American Psychiatric Association: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 4th ed. (DSM-IV). Washington, D.C.., 1994.

Andersson,G., and Oscarsson,O.
Projections to lateral vestibular nucleus from cerebellar climbing fiber zones, Exp.Brain Res. 32 (1978a) 549-564.

Andersson,G., and Oscarsson,O.
Climbing fiber microzones in cerebellar vermis and their projection to different groups of cells in the lateral vestibular nucleus, Exp. Brain Res. 32 (1978b) 565-579.

Andreasen, N.C.
Schizophrenia, From Mind to Molecule, 1994; 分裂病最新研究―精神から分子レベルまで―　秋元波留夫　監訳、創造出版、1996.

Andreasen, N.C., Paradiso, S., and O'Leary, D.S.
"Cognitive dysmetria" as an integrative theory of schizophrenia: a dysfunction in cortico-subcortical-cerebellar circuitry ?　Schizophr. Bull. 24 (1998) 203-218.

Andersen, R.A., Snyder, L.H., Bradley, D.C., and Xing, J.
Multimodal representation of space in the posterior parietal cortex and its use in planning movements, Annu. Rev. neurosci. 20 (1997) 303-330.

青崎敏彦
線条体アセチルコリンと運動制御、Brain Medical 11 (1999) 20-26.

Arango, V., Underwood, M.D., Gubbi, A.V., and Mann, J.J.
Localized alterations in pre- and postsynaptic serotonin binding sites in the ventrolateral prefrontal cortex of suicide victims, Brain Res. 688 (1995) 121-133.

Ardila, A.
The role of insula in language: an unsettled question, Aphasiology 13 (1999) 79-87.

Armstrong,D.M., Harvey,R.J., and Schild,R.F.
Topographical localization in the olivocerebellar projection: an electrophysiological study in the cat, J. comp. Neurol. 154 (1974) 287-302.

Asada, H., Fukuda, Y., Tsunoda, S., Yamaguchi, M., and Tonoike, M.
Frontal midline theta rhythms reflect alternative activations of prefrontal cortex and anterior cingulate cortex in humans, Neurosci.Lett. 274 (1999) 29-32.

Asaad, W.F., Rainer G., and Miller, E.K.
Neural activity in the primate prefrontal cortex during associative learning, Neuron 21(1998)1399-1407.

Azuma, M., and Suzuki H.
Properties and distribution of auditory neurons in the dorsolateral prefrontal cortex of the alert monkey, Brain Res. 298 (1984) 343-346.

Baddeley, A.
Working memory, 1986, Oxford University Press.

Baddeley, A., and Della Sala, S.
Working memory and executive control, p.9-21, In: The Prefrontal cortex—Executive and Cognitive Functions, Eds. by Roberts, A.C., Robbins, T.W., and Weiskrantz, L., 1998, Oxford University Press.

Bailey, P., Barenne, J.G., Garol, H.W., and McCulloch, W.S.
Sensory cortex of chimpanzee, J. Neurophysiol., 3 (1940) 469-485.

Bailey, P., Bonin, G.v., Garol, H.W., and McCulloch, W.S.
Long association fibers in cerebral hemispheres of monkey and chimpanzee, J. Neurophysiol., 6 (1943a) 129-134.

Bailey, P., Bonin. G.v., Garol, H.W., and McCulloch, W.S.
Functional organization of temporal lobe of monkey (Macaca mulatta) and chimpanzee (Pan satyrus). J. Neurophysiol., 6 (1943b) 121-128.

Baizer, J.S., Ungerleider, L.G. and Desimone, R.
Organization of visual inputs to the inferior temporal and posterior parietal cortex in macaques, J. Neurosci. 11 (1991) 168-190.

Balaban, E., Teillet, M.-A., and LeDouarin, N.
Application of the quail-chick chimera system to the study of brain development and behavior, Science 241 (1988) 1339-1342.

Ban, T.
Cortical neurons projecting to the posterior part of the posterior temporal sulcus with particular reference to the posterior association area. An HRP study in the monkey, Arch. Italien. Biol. 124 (1986) 95-109.

伴 亨、川村光毅
サルの上側頭溝周囲皮質への求心性結合に関する HRP 法による研究、解剖学雑誌 59 (1984) 350.

Ban, T., Shiwa, T., and Kawamura, K.
Corticocortical projections from the prefrontal cortex to the superior temporal sulcal area (STs) in the monkey studied by means of HRP method, Arch. Italien. Biol. 129 (1991) 259-272.

Bargiello, T.A., Jackson, F.R. and Young, M.W.
Restoration of circadian behavioral rhythms by gene transfer in Drosophila, Nature 312 (1984) 752-754.

Baron-Cohen, S., Leslie, A., and Frith, U.
Does the autistic child have a "theory of mind" ? , Cognition 21 (1985) 37-46.

Baylis,G.C., and Driver, J.
Shape-coding in IT cells generalizes over contrast and mirror reversal, but not figure-ground reversal, Nature Neurosci. 4 (2001) 937-942.

Beck, C.H., and Fibiger, H.C.
Conditioned fear-induced changes in behavior and in the expression of the immediate early gene c-fos: with and without diazepam pretreatment, J. Neurosci. 15 (1995) 709-720.

Belin, P., McAdams, S., Smith, B., Savel, S., Thivard, L., Samson, S., and Samson, Y.
The functional anatomy of sound intensity discrimination, J. Neurosci. 18 (1998a) 6388-6394.

Belin, P., Zilbovicius, M., Crozier, S., Thivard, L., Fontaine, A., Masure, M.-C., and Samson, Y.
Lateralization of speech and auditory temporal processing, J. Cognitive Neurosci. 10 (1998b) 536-540.

Belin と Zatorre(p. 965-966) と Romanski ら (p. 966) との討論
In: Nature Neurosci. 3 (2000) 965-966.

Beninato, M., and Spencer, R.F.
A cholinergic projection to the rat superior colliculus demonstrated by retrograde transport of horseradish peroxidase and choline acetyltransferase immunohistochemistry, J. Comp.Neurol. 253 (1986) 525-523.

Bickford-Wimer, P.C., Nagamoto, H.T., Johnson, R., Adler L.E., Egan M., Rose G.M., and Freedman R.
Auditory sensory gating in hippocampal neurons ; A model system in the rat, Biol. Psychiat. 27 (1990) 183-192.

Bittencourt, J.C., Presse, F., Arias, C., Peto, C., Vaughan, J., Nahon, J.-L., Vale, W., and Sawchenko, P.E.

The melanin-concentrating hormone system of the rat brain: an immuneo- and hybridization histochemical characterization, J. comp.neurol. 319 (1992) 218-245.

Blakemore, S.J., Frith, C.D., and Wolpert, D.M.
The cerebellum is involved in predicting the sensory consequences of action, Neuroreport 12 (2001) 1879-1884.

Bloomfield, L.
Language, 1933 (Henry Holt and Co., N.Y.) and 1935 (George Allen and Unwin Ltd., London), 言語、服部四郎、三宅鴻、日野資純 訳、1962/1963, 大修館書店

Bonin, G. von, and Bailey, P.
The Noecortex of Macaca murata, University Illinois Press, Urbana, 1941.

Botvinick, M.M., Cohen, J.D., and Carter, C.S.
Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update, Trends Cogn. Sci. 8 (2004) 539-546.

Botvinick, M., Nystrom, L.E., Fissell,K., Carter, C.S., and Cohen, J.D.
Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex, Nature 402 (1999) 179-181.

Braff, D.L.
Sensory input deficits and negative symptoms in schizophrenic patients, Amer. J. Psychiat. 146 (1989) 1006-1011.

Breitmeyer, B.G.
Visual Masking: An integrative approach. (1984) New York: Oxford University Press.

Bremer, F.
Cerveau"isolé"et physiologie du sommeil, C. R. Soc. Biol. (Paris) 118 (1935) 1235-1241.

Brodal, A.
The hippocampus and the sense of smell. A review, Brain 70 (1947) 179-222.

Brodal, A.
Neurological Anatomy in Relation to Clinical Medicine 3rd.Ed. New York Oxford, Oxford Univ. Press, 1981

Brodal, A., and Kawamura, K.
Olivocerebellar projection：a review, Adv. Anat. Embryol. Cell Biol. 64 (1980) 1-140.

Brodal, P.
Principles of organization of the monkey corticopontine projection, Brain Res. 148 (1978a) 214-218.

Brodal, P.
The corticopontine projection in the rhesus monkey. Origin and principles of organization, Brain 101 (1978b) 251-283.

Brodal, P.
The pontocerebellar projection in the rhesus monkey: An experimental study with retrograde transport of horseradish peroxidase, Neuroscience 4 (1979) 193-208.

Brodmann, K.
Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde, J.A. Barth, Leipzig, 1909.

Brown, G.L., and Goodwin, F.K.
Cerebrospinal fluid correlates of suicide attempts and aggression, Ann. NY Acad. Sci. 487 (1986) 175-188.

Bruce, C., Desimone, R., and Gross, G.G.
Visual properties of neurons in a polysensory area in superior temporal sulcus of the macaque, J. Neurophysiol. 46 (1981) 369-384.

Buckner, R.L.
Functional-anatomical correlates of control processes in memory, J.Neurosci. 23 (2003) 3999-4004.

Burton, C.J.
The Neuropathology of Temporal Lobe Epilepsy, Oxford Univ. Press, Oxford, 1988.

Bush, G., Vogt, B.A., Holmes, J., Dale, A.M., Greve, D., Jenike, M.A., and Rosen, B.R.
Dorsal anterior cingulate cortex: a role in reward-based decision making, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99 (2002) 523-528.

Bushara, K.O., Hanakawa, T., Immisch, I., Toma, K., Kansaku, K., and Hallett, M.
Neural correlates of cross-modal binding, Nature Neurosci. 6 (2003) 190-195.

Bushara, K.O., Weeks, R.A., Ishii, K., Catalan, M.-J., Tian, B., Rauschecker, J.P., and Hallett, M.
Modality-specific frontal and parietal areas for auditory and visual localization in humans, Nature Neurosci. 2 (1999) 759-766.

Byne, W., Buchsbaum, M.S., Kemether, E., Hazlett, E.A., Shinwar, A., Mitropoulou, V., and Siever, L.J.
Magnetic resonance imaging of the thalamic mediodorsal nucleus and pulvinar in schizophrenia and schizotypal personality disorder, Arch. Gen. Psychiat. 58 (2001) 133-140.

Byne, W., Buchsbaum, M.S., Mattiace, L.A., Hazlett, E.A., Kemether,

E., Elhakem, S.L., Purohit, D.P., Haroutunian, V., and Jones, L.
Postmortem assessment of thalamic nuclear volumes in subjects with schizophrenia, Am. J, Psychiat. 159 (2002) 59-65.

Calvert, G.A., Bullmore, E.T., Brammer, M.J., Campbell, R., Williams, S.C.R., Mcguire, P.K., Woodruff, P.W.R., Iversen, S.D., and David, A.S.
Activation of auditory cortex during silent lipreading, Science 276 (1997) 593-596.

Caramazza, A., Chialant, D., Capasso, R., and Miceli, G.
Separable processing of consonants and vowels, Nature 403 (2000) 428-430.

Carlsson, A., and Carlsson, L.
Hjarnans budbarare, Stockholm, 1988.（楢林博太郎、飯塚禮二訳 脳のメッセンジャー、医学書院、東京、1993）

Catani, M., Howard, r.j., Pajevic, S., and Jones, D.K
Virtual in vivo interactive dissection of white matter fasciculi in the human brain, NeuroImage 17 (2002) 77-94.

Catani, M., Jones, D.K., Donato, R., and Ffytche, D.H.
Occipito-temoral connections in the human brain, Brain 126 (2003) 2093-2107.

Cavada, C., Company, T., Yejedor, J., Cruz-Rizzolo, R.J., and Reinoso-Suarez, F.
The anatomical connections of the macaque monkey orbitofrontal cortex, Cerebral Cortex 10 (2000) 220-242.

Chavis, D.A., and Pandya,D.N.
Further observations on corticofrontal connections in the rhesus monkey, Brain Res. 117 (1976) 369-386.

Civitareale, D., Lonigro, R., Sinclair, A. J., and DiLauro, R.
A thyroid-specific nuclear protein essential for tissue-specific expression of the thyroglobulin promoter, EMBO J. 8 (1989) 2537-2541.

Clemenz, B.A., Blumenfeld, L.D., and Cobb, S.
The gamma band responses may account for poor p50 suppression in schizophrenia, Neiroreport 8 (1997) 3889-3893.

Cohen, J.D., Botvinick, M., and Carter, C.S.
Anterior cingulate and prefrontal cortex: who's in control? , Nature neurosci. 3 (2000) 421-423.

Cohen, M.X., Heller, A.S., and Ranganath, C.
Functional connectivity with anterior cingulate and orbitofrontal cortices during decision-makings, Brain Res. Cogn. Brain Res. 23 (2005) 61-70.

Cole, A.J., Saffen, D.W., Baraban, J.M., and Worley, P.F.
Rapid increase of an immediate early gene messenger RNA in hippocampal neurons by synaptic NMDA receptor activation, Nature 340 (1989) 474-476.

Concha, M.L., Burdine, R.D., Russell, C., Schier, A.F., and Wilson, S.W.
A nodal signaling pathway regulatesthe laterality of neuroanatomical asymmetriesin the zebrafish forebrain, Neuron 28 (2000) 399-409.

Concha, M.L. and Wilson, S.W.
Asymmetry in the epithalamus of vertebrates, J. Anat. 199 (2001) 63-84.

Cooke, B., Hegstrom, C.D., Villeneuve, L.S., and Breedlove, S.M.
Sexual differentiation of the vertebrate brain : Principles and Mechanisms, Front Neuroendocrinol. 19 (1998) 323-362.

Critchley, H., Daly, E., Phillips, M., Brammer, M., Bullmore, E., Williams, S., Amelsvoort, T.V., Robertson, D., David, A., and Murphy, D.
Explicit and implicit neural mechanisms for processing of social information from facial expressions: a functional magnetic resonance imaging study, Human Brain Mapping 9 (2000) 93-105.

Crow, T.J.
Molecular pathology of schizophrenia : more than one disease process ? Brit. Med. J. 12 (1980) 66-68.

Crow, T.J.
Language and psychosis : common evolutionary origins, Endevor 20 (1996) 105-109.

Cummings, J.L.
Frontal-subcortical circuits and human behavior, Adv.Neurol. 50 (1993) 873-880.

Cummings, J.L.
Anatomical and behavioral aspects of frontal-subcortical circuits, Ann. N. Y. Acad. Sci. 769 (1995) 1-13.

Dalton, P., Doolittle, N., Nagata, H., and Breslin, P.A.S.
The merging of the senses: integration of subthreshold taste and smell, Nature Neurosci. 3 (2000) 431-432.

Darwin, C.
On the Origin of Spieces by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life, 1859, 種の起源、八杉龍一訳、岩波書店、1990.

Desimone, R., and Schein, S.
Visual properties of neurons in area V4 of the macaque: sensitivity to stimulus form, J. Neurophysiol. 57 (1987) 835-868.

Desimone, R., Schein S.J., Moran, J., and Ungerleider, L.G.
Contour, color and shape analysis beyond the striate cortex, Vision Res. 25 (1985) 441-452.

Dierks, T., Linde, D.E.J., Jandl, M., Formisano, E., Goebel, R., Lanfermann, H., and Singer, W.
Activation of Heschl's gyrus during auditory halluzination, Neuron 22 (1999) 615-621.

Dino, M.R., Schuerger, R.J., Liu, Y., Slater, N.T., and Mugnaini, E.
Unipolar brush cell: a potential feedforward excitatory interneuron of the cerebellum, Neuroscience 98 (2000) 625-636.

土井泰次郎、藤田一郎
形状知覚と物体認識における側頭葉視覚連合野の役割、神経進歩 48 (2004) 176-185.

Doya, K.
What are the computations of the cerebellum, the basal ganglia and the cerebral cortex？ Neural Networks 12 (1999) 961-974.

銅谷賢治、川人光男、春野雅彦
小脳、大脳基底核、大脳皮質の機能分化と統合、科学 70 (2000) 740-749.

Drevets, W.C., Vidden, T.O., Price, J.L., Preskorn, S.H., Carmichael, S.T., and Raichle, M.E.
A functional anatomical study of unipolar depression, J. Neurosci. 12 (1992) 3628-3641.

Dronkers, N.F.
A new brain region for coordinating speech articulation, Nature 384 (1996) 159-161.

Dueck, C.A., Manore, M.M., and Matt, K.S.
Role of energy balance in athletic menstrual dysfunction, Int. J. Sport Nutr. 6 (1996) 165-190.

Duhamel, J.R., colby, C.L., and Goldberg, M.E.
Ventral intraparietal area of the macaaque: congruent visual and somatic response properties, J.Neurophysiol. 79 (1998) 126-136.

Dunlap, J.C.
Molecular bases for circadian clocks, Cell 96 (1999) 271-290.

Economo, C. von
Theorie du sommeil, J. Neurol. Psychiat. (Brux.) 28 (1928) 437-464.

Efron, R.
Conversation of temporal information by perceptual systems, Perception & Psychophysics 14 (1973) 518-530.

Eifuku, S., Nishijo, H., Kita, T., Ono, T.
Neural activity in the primate hippocampal formation during a conditional association task based on the subject's location, J. Neurosci.15 (1995) 4952-4969.

永福智志、小野武年
サルの情動と学習・記憶の脳内システム、Brain Medical 13 (2001) 361-369.

Elbert, T., and Keil, A.
Imaging in the fourth dimension, Nature 404 (2000) 29-31.

Embrick, D., Marantz, A., Miyashita, Y., O'Neil, W., and Sakai, K.L.
A syntactic specialization for Broca's area, ProNAS 97 (2000c) 6150-6154.

Engelberg, H.
Low serum cholesterol and suicide, Lancet 339 (1992) 727-729.

Engels, F.
猿が人間になるについての労働の役割 . 大月書店編集部編 . In:Neue Zeit（1896）、1876 年執筆

Eriksson, P. S., Perfilieva, E ., Björk-Eriksson, T., Alborn, A–M., Nordborg, C ., Peterson, D. A., and Gage, F H
Neurogenesis in the adult human hippocampus, Nature Med. 4 (1998) 1313 – 1317.

Esquirol, E.
Des maladies mentales considérées sous le rapport médical, hygiénique et médico-légal, J.B. Baillère, Paris, 1938, 2 vol.

Evarts, E.V., and Thach, W.T.
Motor mechanisme of the CNS: cerebrocerebellar interactions, Ann. Rev. Physiol. 31 (1969) 451-494.

Ey, H.
Des idées de Jackson à un modèle organo-dynamique en psychiatrie, Edouard Privat, Editeur Toulouse, 1975, 大橋博司ら訳：ジャクソンと精神医学、みすず書房、1979.

Fagiolini, M., Fritschy, J.-M., Löw, K., Möhler, H., Rudolph, U., and Hensch, T.K.
Specific GABAA circuits for visual cortical plasticity, Science 303 (2004) 1681-1683.

Falck, B.,Hillarp, N.A., Thieme, G., and Thorpe, A.
Fluorescence of catecholamines and related compound condensed with formaldehyde, J .Histochem. Cytochem. 10 (1962) 348-354.

Farah, M.J., and Aguirre, G.K.
Imaging visual recognition: PET and fMRI studies of the functional anatomy of human visual recognition, Trends Cogn.Sci. 3 (1999)

179-186.

Felleman, D.J., and Van Essen, D.C.
Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex, Cereb. Cortex 1 (1991) 1-47.

Fiez, J.A.
Cerebellar contributions to cognition, Neuron 16 (1996) 13-15.

Finney, E.M., Fine, I., and Dobkins, K.R.
Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf, Nature Neurosci. 4 (2001)1171-1173.

Fiorino, D.F., and Phillips, A.G.
Facilitation of sexual behavior and dopamine efflux in the nucleus accumbens of male rats after D-amphetamine-induced behavioral sensitization, J.Neurosci. 19 (1999) 456-463.

Flor-Henry, P.
Schizophrenic-like reactions and affective psychoses associated with temporal lobe epilepsy : etiological factors, Amer. J. Psychiatr. 126 (1969a) 400-404.

Flor-Henry, P.
Psychosis and temporal lobe epilepsy : A controlled investigation, Epilepsia 10 (1969b) 363-395.

Flynn, F.G., Benson, D.F., and Ardila, A.
Anatomy of the insula － functional and clinical correlates, Aphsiology 13 (1999) 55-78.

Fox, C.A., and Barnard, J.W.
A quantitative study of the Purkinje cell denritic branchlets and their relationship to afferent fibres, J. Anat. (Lond.) 91 (1957) 299-313.

Freedman, D.J., Riesenhuber, M., Poggio, T., and Miller, E.K.
Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex, Science 291 (2001) 312-316.

Friedman, H.R., and Goldman-Rakic,P.S.
Coactivatiion of prefrontal cortex and inferior parietal cortex in working memory tasks revealed by 2DG functional mapping in the rhesus monkey, J. Neurosci. 14 (1994) 2775-2788.

Friedman, J.M. and Halaas, J.L.
Leptin and the regulation of body weight in mammals, Nature 395 (1998) 763-770.

Fujiyama, K., Kajii, Y., Hiraoka, S., and Nishikawa, T.
Differential regulation by stimulants of neocortical expression of mrt 1, arc, and homer 1a mRNA in the rats treated with repeated methanphetamine, Synapse 49 (2003) 143-149.

福田淳、佐藤宏道
脳と視覚－何をどう見るか、共立出版、2002,

船橋新太郎
前頭連合野とワーキングメモリ、神経進歩　45 (2001) 223-234.

船橋新太郎
ワーキングメモリの神経回路、In: 松本元・小野武年編 : 情と意の脳科学―人とは何か―. 培風館 , (2002) 68-89.

Fuster, J.M.
Temporal processing, Ann. N. Y. Acad. Sci. 769 (1995) 173-181.

Fuster, J.M.
The Prefrontal cortex: Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the Frontal Lobe, 3rd ed. Lippincott-Rave, New York, 1997.

Fuster, J.M.
Executive frontal functions, Exp. Brain Res. 133 (2000) 66-70.

Fuster, J.M., Bodner, M., and Kroger, J.K.
Cross-modal and cross-temporal association in neurons of frontal cortex, Nature 405 (2000) 347-351.

Galuske, R.A.W., Schlote, W., Bratzke, H., and Singer, W.
Interhemispheric asymmetries of the modular structure in human temporal cortex, Science 289 (2000) 1946-1949.

Gao, J.-H., Parsons, L.M., Bower, J.M., Xiong, J., Li, J., and Fox, P.T.
Cerebellum implicated in sensory acquisition and discrimination rather than motor control, Science 271 (1996) 545-547.

Garcia-Castro, M.I., vielmetter, E., and bonner-Fraser, M.
N-Cadherin, a cell adhesion molecule involved in establishment of embryonic left-right asymmetry, Science 288 (2000) 1047-1051.

Gazzaniga, M.S., Bogen, J.E., and Sperry, R.W.
Observations on visual perception after disconnexion of the cerebral hemispheres in man, Brain 88 (1965) 221-236.

Gazzaniga, M.S., and LeDoux, J.E.
The Integrated Mind, Plenum Press, New York, 1978 (「二つの脳と一つのこころ－左右の半球と認知」、柏原恵龍他　訳、ミネルヴァ書房、1980)

Gazzaniga, M.S., and Sperry. R.W.
Language after section of the cerebral commissures, Brain 90 (1967) 131-148.

Gehring, W.J., and Knight, R.T.
Prefrontal-cingulate interactions in action monitoring, Nature neurosci. 3 (2000) 516-520.

Gemba, H., Miki, N., and Sasaki, K.
Cortical field potentials preceding vocalization and influences of cerebellar hemispherectomy upon them in monkeys, Brain Res. 697 (1995) 143-151.

Gemba, H., Miki, N., and Sasaki, K.
Cortical field potentials preceding vocalization in monkeys, Acta Otolaryngol. Suppl. 532 (1997) 96-98.

Geschwind, N.
Specializations of the human brain, Scientific Amer. 241 (1979) 180-199.

Geschwind, N., and Levitsky, W.
Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region, Science 161(1968) 186-187.

Geyer, S.
The microstructural border between the motor and the cognitive domain in the human cerebral cortex, Adv. Anat. Embryol. Cell Biol. 174 (2004) 1-92.

Gloor, P.
The Temoral Lobe and Limbic System, Oxford Univ. Press, New York, Oxford, 1997.

Goddard,G.V., McIntyre, D.C., and Leech, C.K.
A permanent change in brain function resulting from daily electrical stimmulation, Exp.Neurol. 25 (1969) 295-330

Gold, B.T., and Buckner, R.L.
Common prefrontal regions coactivate with dissociable posterior regions during controlled semantic and phonological tasks, Neuron 35 (2002) 803-812.

Goldman-Rakic, P. S.
Topography of cognition: parallel distribution networks in primate association cortex, Ann. Rev. Neurosci. 11 (1988) 137-156.

Goldman-Rakic, P. S.
Working memory and the mind, Scient. Amer., (1992) 110-117.

Goldman-Rakic, P. S.
The prefrontal landscape: implications of functional architecture for understanding human mentation and the central executive, Philos. Trans.R.Soc.London Ser.B 351 (1996) 1445-1453.

Goldman-Rakic, P. S., Selemon, L.D., and Schwartz, M.L.
Dual pathways connecting the dorsolateral prefrontal cortex with the hippocampal formation and parahippocampal cortex in the rhesus monkey, Neuroscience 12 (1984) 719-743.

Gonzalo-Ruiz, A., Alonso, A., Sanz, J.M., and Llinas, R.R.
Affernt pprojections to the mammillary complex of the rat, with special reference to those from surrounding hypothalamic regions, J. Comp. Neurol. 321 (1992) 277-299.

Gonzalo-Ruiz, A., Morte, L., Flecha, J.M., and Sanz, J.M.
Neurotransmitter characteristics of neurons projecting to the supramammillary nucleus of the rat, Anat. Embryol. 200 (1999) 377-392.

Goodale, M.A., and Milner, A.D.
Separate visual pathways for perception and action, Trends Neurosci. 15 (1992) 20-25.

Gorski,R.A., Gordon, J.H., Shryne, J.E., and Southam,A.M.
Evidence for a morphological sex difference within the medial preoptic area of the rat brain, Brain Res. 862 (1978) 333-346.

Grant, L.D., Coscina, D.V., Grossman, S.P., and Freedman, D.X.
Suicide after serotonin depleteing lesions of midbrain raphe nuclei, Pharm. Biochem. Behav. 1 (1973) 77-80.

Graybiel, A.M.
The basal ganglia and cognitive pattern generators, Schizophrenia Bulletin 23 (1997) 459-469.

Green, M.F., Nuechterlein, K.H., Breitmeyer, B., and Mintz, J.
Backward masking in unmedicated schizophrenic patients in psychotic remission: possible reflection of aberrant cortical oscillation, Amer. J. Psychiat. 156 (1999) 1367-1373.

Groenewegen, H.J., and Voogd, J.
The parasagittal zonation within the olivocerebellar projection. I. Climbing fiber distribution in the vermis of cat cerebellum, J. comp. Neural. 174 (1977) 417-488.

Groenewegen, H.J., Voogd, J.and Freedman, S.L.
The parasagittal zonal organization within the olivocerebellar projection. II. Climbing fiber distribution in the intermediate and hemispheric parts of cat cerebellum, J. comp. Neurol. 183 (1979) 551-602.

Guazzi, S., Price, M., DeFelice M., Damante, G., Mattei, M.-G. and DiLauro, R.
Thyroid nuclear factor 1 (TTF) contains a homeodomain and displays a novel DNA binding specificity, EMBO J. 9 (1990) 3631-3639.

Gupta, A., Wang, Y., and Markram, H.
Organizing principles for a diversity of GABAergic interneurons and synapses in the neocortex, Science 287 (2000) 273-278.

Gutfreud, Y., Zheng, W., and Knudsen, E.I.

Gated visual input to the central auditory system, Science 297 (2002) 1556-1559.

Hackett, T.A. Stepniewska, I., and Kaas, J.H.
Subdivisions of auditory cortex and ipsilateral cortical connections of the parabelt auditory cortex in the macaque monkeys, J. Comp. Neurol. 394 (1998) 475-495.

Haglund L, Swanson LW, Kohler C
The projection of the supramammillary nucleus to the hippocampal formation: an immunohistochemical and anterograde transposrt study with the lectin PHA-L in the rat. J Comp Neurol 229: 171-185, 1984

Haines, D.E., Dietrichs, E., and Sowa, T.E.
Hypothalamo-cerebellar and cerebello-hypothalamic pathways: a review and hypothesis concerning cerebellar circuits which may influence automonic centers and affective behavior, Brain Behav. Evol. 24 (1984) 198-220.

Hampson, M., Peterson, B.S., Skudlarski, P., Gatenby, J.C., and Gore, J.C.
Detection of functional connectivity using temporal correlations in MR images, Human Brain Mapping 15 (2002) 247-262.

Harris,G.W.
Neural control of the pituitary gland, Physiol. Rev. 28 (1948) 139-179.

Hasegawa, I., Fukushima, T., Ihara, I., and Miyashita, Y.
Callosal window between prefrontal cortices : cognitive interaction to retrieve long-term memory, Science 281 (1998) 814-818.

Hasegawa, I., Hayashi, T., and Miyashita,Y.
Memory retrieval under the control of the prefrontal cortex, Ann. Med. 31 (1999) 380-387.

端川勉
霊長類の聴覚野と聴覚関連皮質、神経進歩　46 (2002) 79-90.

Hashimoto, R., Homae, F., Nakajima, K., Miyashita, Y., and Sakai, K.L.
Functional differentiation in the human auditory and language areas revealed by a dichotic listening task, Neuroimage 12 (2000d) 147-158.

Hashimoto, R., and Sakai, K.L.
Specialization in the left prefrontal cortex for sentence comprehension, Neuron 35 (2002b) 589-597.

Haxby, J.V., Hoffman, E.A., and Gobbini, M.I.
The distributed human neural system for face perception, Trends Cogn.Sci. 4 (2000) 223-233.

Hayashi, M., Ito, M., and Shimizu, K.
The spindle neurons are present in the cingulate cortex of chimpanzee fetus, Neurosci. Lett. 309 (2001) 97-100.

He, J., Hashikawa T., Ojima, H., and Kinouchi, Y.
Temporal integration and duration tuning in the dorsal zone of cat auditory cortex, J. Neurosci. 17 (1997) 2615-2625.

Hebb, D.O.
The Organization of Behavior, Wiley & Sons, New York, 1949.

Heidary, H., and Tomasch, J.
Neuron numbers and perikaryon areas in the human cerebellar nuclei, Acta Anat. (Basel) 74 (1969) 290-296.

Heisler, L.K., Cowley, M.A., Tecott, L.H.,Fan, W., Low, M.J., Smart, J.L., Rubinstein, M., TatroJ.B., Marcus, J.N., Holstege, H., Lee, C.E., Cone R.D., and Emquist, J.K.
Activation of central melanocortin pathways by fenfluramine, Science 297 (2002) 609-611.

Hensch, T.K., and Stryker, M.P.
Columnar architecture sculpted by GABA circuits in developing cat visual cortex, Science 303 (2004) 1678-1681.

彦坂興秀
運動制御における小脳の役割－最近の進歩、神経進歩　44(2000) 974-982.

彦坂興秀、山鳥重、河村満
眼と精神、医学書院、2003.

Hikosaka, O., Nakahara, H., Rand M.K., Sakai, K., Lu, X., Nakamura, K., Miyachi, S., and Doya, K.
Parallel neural networks for learning sequential procedures, Trends Neurosci. 10 (1999) 464-471.

Hikosaka, O., Takikawa, Y., and Kawagoe, R.
Role of basal ganglia in the control of purposive saccadic eye movements, Physiol. Reviews 80 (2000) 953-978.

Hikosaka, O., and WurtzR.H.
Modification of saccadic eye movements by GABA-related substances, I; Effect of muscimol and bicuculline in the monkey superior colliculus, J. Neurophysiol. 53 (1985a) 266-291.

Hikosaka, O., and WurtzR.H.
Modification of saccadic eye movements by GABA-related substances, II; Effects of muscimol in the monkey substantia nigra pars reticulata, J. Neurophysiol. 53 (1985b) 292-308.

Hirai, T., Onodeara, S., and Kawamura, K.
Cerebellotectal projections studied in cats with horseradish

peroxidase or tritiated amino acids axonal transports, Exp. Brain Res. 48 (1982) 1-12.

Hirayasu, Y., McCarley, R.W., Salisbury, D.F., Tanaka, S., Kwon, J.S., Frumin, M., Snyderman, D., Yurgelun-Todd, D., Kikinis, R., Jolesz, F.A., and Shenton, M.E.
Planum temporale and Heschl gyrus volume reduction in schizophrenia, Arch. Gen. Psychiat. 57 (2000) 692-699.

Hisano, S., Kagotani, Y., Tsuruo, Y., Daikoku, S., Chihara, K., and Whitnall, M.H.
Localization of glucocorticoid receptor in neuropeptide Y-containing neurons in the arcuate nucleus of the rat hypothalamus, Neurosci. Lett. 95 (1988) 13-18.

Hobson, J.A., and McCarley, R.W.
The brain as a dream state generator: An activation-synthesis hypothesis of the dream process, Amer. J. Psychiat. 134 (1977) 1335-1348.

Hollerman, J.R. and Schultz, W.
Dopamine neurons report an error in the temporal prediction of reward during learning, Nature Neurosci. 1 (1998) 304-309.

Holroyd, C.B., Nieuwenhuis, S., Yeung, N., Nystrom, L., Mars, R.B., Coles, M.G.H., and Cohen, J.D.
Dorsal anterior cingulate cortex shows fMRI response to internal and external error signals, Natrue Neurosci. 7 (2004) 497-498.

Homae, F., Hashimoto, R., Nakajima, K., Miyashita, Y., and Sakai, K.
From perception to sentence comprehension: the convergence of auditory and visual information of language in the left frontal cortex, NeuroImage 16 (2002) 883-900.

本多祥子、石崎典生
海馬体から嗅内野への出力路、神経進歩　45 (2001) 297-311.

Hoshi, E., and Tanji, J.
Contrasting neuronal activity in the dorsal and ventral premotor areas during preparation to reach, J. Neurohysiol. 87 (2002) 1123-1128.

Hoshi, E., and Tanji, J.
Functional specialization in dorasal and ventral premotor areas, Prog. Brain Res. 143 (2004) 507-511.

Hoshi, E., Tremblay, L., Feger, J., Carrras, P.L., and Strick, P.L.
The cerebellum communicates with the basal ganglia, Nature Neurosci, (2005, Oct 2) Advance online pub. 1-3.

Hoshiyama, M., Gunji, A., and Kakigi, R.
Hearing the sound of silence : A magnetoencephalographic study, Neuroreort 12 (2001) 1097-1102.

Hubel, D.H., and Wiesel, T.N.
Recceptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex, J. Physiol. (Lond.) 160 (1962) 106-154.

Hubel, D.H., and Wiesel, T.N.
Recceptive fields and functional architecture in two non-striate visual areas (18 and 19) of the cat, J. Neurophysiol. 28 (1965) 229-289.

Hubel, D.H., and Wiesel, T.N.
Recceptive fields and functional architecture of monkey striate cortex, J. Physiol. (Lond.) 195 (1968) 215-243.

Hubel, D.H., and Wiesel, T.N.
Anatomical demonstration of columns in the monkey striate cortex, Nature 221 (1969) 747-750.

Hubel, D.H,, and Wiesel, TN.
The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens, J Physiol. 1970 (206) 419-436.

Hyvaerinen, J., and Poranen, A.
Function of the parietal association area 7 as revealed from cellular discharges in alert monkeys, Brain 97 (1974) 673-692.

Ichimiya, T., Okubo, Y., Suhara, T., and Sudo, Y.
Reduced volume of the cerebellar vermis in neuroleptic-naïve schizophrenia, Biol. Psychiat. 49 (2001) 20-27.

Ichinohe, N., Mori, F., and Schoumura, K.
A di-synaptic projection from the lateral cerebellar nucleus to the laterodorsal part of the striatum via the central lateral nucleus of the thalamus in the rat, Brain Res. 880 (2000) 191-197.

Ichisaka, S.,Katoh-Semba, R., Hata, Y., Ohsima, M., Kameyama, K., and Tsumoto,T.
Activity-dependent changes in the protein level of brain-derived neurotrophic factor but no change in other neurotrophins in the visual cortex of young and adult ferrets, Neuroscience 117 (2003) 361-371.

Ilinsky, I.A., and Kultas-Ilinsky, K.
An autoradiographic study of topographical relationships between pallidal and cerebellar projections to the cat thalamus, Exp. Brain Res. 54 (1984) 95-106.

Imamizu, H., Miyaauchi, S., Tamada, T., Sasaki, Y., Takino, R., Putz, B., Yoshioka, T., and Kawato, M.
Human cerebellar activity refrecting an acquired internal model of a new tool, Nature 403 (2000) 192-195.

伊佐正

上丘へのコリン作動性投射の生理学的役割、Brain Medical 11(1999) 27-33.

Isgor, C., Cecchi, M., Kabbaj, M., Akil, H., and Watson, S.J.
Estrogen receptor beta in the paraventricular nucleus of hypothalamus regulates the neuroendocrine response to stress and is regulated by corticosterone, Neuroscience 121 (2003) 837-845.

Ishihara, T., and Yoshii, N.
Multivariate analytic study of EEG and Mental activity in Juvenile delinquents, Electroenceph. and clin. Neurophysiol. 33 (1972) 71-80.

石塚典生
大脳辺縁系の細胞構築と神経結合、 p.26-p.45, In: 情と意の脳科学－人とは何か、pp.321, 松本元、小野武年（編）,2002、培風館

Itami. C., Kimura, F., Kohno, T., Matsuoka, M., Ichikawa, M., Tsumoto, T., and Nakamura, S.
Brain-derived neurotrophic factor-dependent unmasking of "silent" synapses in the developing mouse barrel cortex, Proc Natl Acad Sci USA. 100（2003）13069-13074.

伊藤正男
脳の設計図、1980、中央公論社

伊藤正男
脳の不思議、岩波 科学ライブラリー 、1998、岩波書店

Ito, M.
Neurophysiological aspects of the cerebellar motor control system, Intn. J. Neurol. 7 (1970) 162-176.

Ito, M.
The Cerebellum and Neural Control, 1984, Raven Press.

Ito, M.
Movement and thought: Identical control mechanisms by the cerebellum, TrenNeurosci. 16 (1993) 448-450.

Ito, M.
Cerebellar microcomplexes, Intern. Review Neurobiol. 41 (1997) 475-487.

Ito, M.
Consciousness from the viewpoint of the structural-functional relationships of the brain, Intern.J. Psychol. 33 (1998) 191-197.

Ito, M.
Internal model visualized, Nature 403 (2000) 153-154.

Ito, M.
Neural control of cognition and language, In: Image, Language and Brain, Maranz, A., Miyashita, Y., and O'Neil, W. Eds., Cambridge, MA: MIT Press, 2001a, p.149-162.

Ito, M.
Cerebellar long-term depression : characterization, signal transduction, and functional roles. Physiol. Review 81 (2001b) 1143-1195.

Ito, M.
The molecular organization of cerebellar long-term depression, Nature review/ Neurosci. 3 (2002a) 896-902.

Ito, M.
Controller-regulator model of the central nervous system, J. Integ. Neurosci. 1 (2002b) 129-143

伊藤正男、祖父江逸郎、小松崎篤、広瀬源二郎（編）
小脳の神経学、1986、医学書院

伊藤真次
ヒトと日周リズム―生理機能における環境の影響― 1977 共立出版

Ivanova, A., and Yuasa, S.
Neural migration and differentiation in the development of the mouse dorsal cochlear nucleus, Dev. Neurosci. 20 (1998) 498-511.

岩井栄一
脳－学習・記憶のメカニズム、1984 朝倉書店

Jackson, J.H.
Selected Writings of John Hughlings Jackson, Vols. 1 & 2 , ed. by J. Taylor (1931,32) , esp.「脳の二元性 (duality) の性質について、(1874)」、「神経系の進化と退化、2 (1884) 45-75」、「精神病の諸要素、2 (1894)411-420」

Jarvis, E.D., Gunturkun, O., Bruce, L., Csillag, A., Karten, H., Kuenzel, W., Medina, L., Paxinos, G., Perkel, D.J., Shimizu, T., Striedter, G., Wild, J.M., Ball, G.F., Dugas-Ford, J., Durand, S.E., Hough, G.E., Husband, S., Kubikova, L., Lee, D.W., Mello, C.V., Powers, A., Siang, C., Smulders, T.V., Wada, K., White, S.A., Yamamoto, K., Yu, J., Reiner, A., and Butler, A.B. (Avian Brain Nomenclature Consortium)
Avian brains and a new understanding of vertebrate brain evolution, Nature Review, Neuroscience 6 (2005) 151-159.

Johnson, E.N., Hawken, M.J., and Shapley, R.
The spatial transformation of color in the primary visual cortex of the macaque monkey, Nature Neurosci. 4 (2001) 409-416.

Jones, E.G., and Burton, H.
Areal differences in the laminar distribution of thalamic afferents in cortical fields of the insular, parietal and temporal regions of primates, J Comp. Neurol. 168 (1976) 197-248.

Jones, E.G., Coulter, J.D., Burton, H., and Porter, R.
Cells of origin and terminal distribution of corticostriatal fibers arising in the sensory-motor cortex of monkeys, J. comp. neurol. 173 (1977) 53-80.

Jones, E.G., Dell'Anna, M.E., Molinari, M., Rausell, E., and Hashikawa, T.
Subdivisions of macaque monkey auditory cortex revealed by calcium-binding protein immunoreactivity, J. Comp. Neurol. 362 (1995) 153-170.

Jones, E.G., and Powell, T.P.S.
An anatomical study of converging sensory pathways within the cerebral cortex of the monkey, Brain 93 (1970) 793-820.

Jouvet, M.
Neurophysiology of the states of sleep, Physiol. Rev. 47 (1967) 117-177.

Jouvet, M.
Biogenic amines and the state of sleep, Science 163 (1969) 32-41.

Jouvet, M.
The role of monoamines and acetylcholine containing neurons in the regulation of the sleep-waking cycle, Ergeb. Physiol. 64 (1972) 166-307.

Joyce, J.N., and Gurevich, E.V.,
D3 Receptors and the actions of neuroleptics in the ventral striatopallidal system of schizophrenics, Ann. N.Y. Acad.Sci. 877 (1999) 595-613.

Kaan, E., and Swaab, T.Y.
The brain circuitry of syntactic comprehension, Trends in Cognit. Sci. 6 (2002) 350-356.

Kaas, J.H., and Hackett, T.A.
'What' and 'where' processing in auditory cortex, Nature neurosci. 2 (1999) 1045-1047.

Kaas, J.H., Hackett, T.A. and Tramo, M.J.
Auditory processing in primate cerebral cortex, Current Opinion in Nuerobol. 9 (1999) 164-170.

香川雪彦、小山純正、高橋和巳
睡眠・覚醒の神経機構、最新医学　59 (2004) 409-414.

Kahana, M.J., Sekuler, R., Caplan, J.B., Kirschen, M., and Madsen, J.R.
Human theta oscillations exhibit task dependence during virtual maze navigation, Nature 339 (1999) 781-784.

Kajii, Y., Muraoka, S., Hiraoka, S., Fujiyama, K., Umino, A., and Nishikawa, T.
Adevelopmentally regulated and psychostimulant-inducible novel rat gene mrt 1 encoding PDZ-PX proteins isolated in the neocortex, Molecular Psychiatry (2003) in press.

Kanwisher, N., McDermott, J., and Chun, M.M.
The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception, J. Neurosci., 17 (1997) 4302-4311.

Kaplan, J.R., Maruck, S.B., and Shively, C.
The effects of fat and cholesterol on social behavior in monkey, Psychosom. Med. 53 (1991) 634-642.

Kasai, K., Shenton, M.E., Salisbury, D.F., Hirayasu, Y., Lee, C.U., Ciszewski, A.A., Yurgelun-Todd, D., Kikinis, R., Jolesz, F.A., and McCarley, R.W.
Progressive decrease of left superior temporal gyrus gray matter volume in patients with first-episode schizophrenia, Amer. J. Psychiat. 160 (2003) 156-164.

加瀬学
神経眼科と眼球運動―20 世紀の眼球運動研究はどこまで発展したか、神経眼科　19 (2002) 15-33.

鹿島晴雄
条件反射学、65 頁－ 75 頁、臨床精神医学ハンドブック、保崎、武正 編 1980、金原出版

加藤元一郎、鹿島晴雄
精神分裂病と認知機能障害―とくに前頭前野と文脈処理の障害について、Schizophrenia Frontier 3 (2002) 143-147.

Kawagoe, R., Takikawa, Y., and Hikosaka, O.
Expectation of reward modulates congnitive signals in the basal ganglia, Nat. Neurosci. 5 (1998) 411-416.

川口康雄
大脳皮質の GABA 作働性神経回路、日本神経回路学会誌　5 (1998) 171-177.

Kawaguchi, Y., and Kubota, Y.
GABAergic cell subtypes and their synaptic connections in rat frontal cortex, Cerebral Cortex 7 (1997) 476-486.

川上泰彦
脊椎動物の左右非対称性形成機構、蛋白質　核酸　酵素、50 (2005) 1609-1619.

Kawakami, R., Shinohara, Y., Kato, Y., Sugiyama, H., Shigemoto, R., and Ito, I.
Asymmetrical allocation of NMDA receptor ε 2 subunits of single neurons, Science 300 (2003) 990-994.

川村浩、二本松伊都子
視交叉上核の移植、神経進歩　29 (1985) 71-82.

Kawamura, K.
Variations of the cerebral sulci in the cat, Anat. Rec.80 (1971) 204-221.

Kawamura, K.
Corticocortical fiber connections of the cat cerebrum.　Ⅰ. The temporal region, Brain Res. 51 (1973a) 1-22.

Kawamura, K.
Corticocortical fiber connections of the cat cerebrum.　Ⅱ. The parietal region, Brain Res. 51 (1973b) 23-40.

Kawamura, K.
Corticocortical fiber connections of the cat cerebrum.　Ⅲ. The occipital region, Brain Res. 51 (1973c) 41-60.

川村光毅
連合野 " の線維結合 (I) 皮質間結合－－サルとネコの皮質間結合の比較と " 連合野 " の発達についての試論－－、神経研究の進歩 21（1977）1085-1101.

川村光毅
小脳の帯状構造とオリーブ小脳投射 , 生体の科学 31 (1980) 139-148.

川村光毅
角回を中心とする皮質間線維連絡、失語症研究 2 (1981)13-19.

川村光毅
視蓋・小脳投射系を中心とする視覚運動および聴覚運動に関する考察、脳と神経 36 (1984) 1149-1158.

川村光毅
前頭葉の解剖学―前頭前野の皮質間結合を中心に－、精神医学 27 (1985) 611-617.

川村光毅
小脳の基礎－小脳の構造、In: 小脳の神経学（伊藤、祖父江、小松崎、広瀬 編）、医学書院、(1986) 8-51.

川村光毅
連合野間の統合－Ⅰ. 解剖、In: 新生理学大系（監修：勝木、内薗；総編集:星、伊藤）、第一２巻:高次脳機能の生理学（鈴木、酒田 編）、医学書院、(1988) 284-293.

川村光毅
認知機能についての機能解剖学的考察、In: 認知機能からみた精神分裂病、生物学的精神医学、Vol. 4.(小島、大熊編）、学会出版、(1993) 183-198.

川村光毅
神経情報の統合：条件反射と高次機能、In: 脳と神経―分子神経生物科学入門（金子章道、川村光毅、植村慶一 編）第３章―６、共立出版、(1999a) 284-296.

川村光毅
ロゴスとパトス、 アニテックス（Laboratory Animal Technology and Science）11/3 (1999b) 12-18.

川村光毅
精神医学の基礎となる知識、脳の形態と機能－精神医学に関連して　In: 精神医学テキスト（上島国利、立山萬里 編）南江堂、(2000) 12-29.

川村光毅
脳と精神 / 情動と音楽の周辺 .　In: 松本元・小野武年編 : 情と意の脳科学―人とは何か―. 培風館 , (2002) 280-312.

Kawamura, K., Brodal, A., and Hoddevik, G.
The projection of the superior colliculus onto the reticular formation of the brain stem. An experimental anatomical study in the cat, Exp. Brain Res. 19 (1974) 1-19.

Kawamura K., and Hashikawa T.
Olivocerebellar projections in the cat studied by means of anterograde axonal transport of labeled amino acids as tracers, Neuroscience 4 (1979) 1615-1633.

Kawamura, K., and Hashikawa, T.
Projections from the pontine nuclei proper and reticular tegmental nucleus onto the cerebellar cortex in the cat. An autoradiographic study, J. Comp. Neurol. 201 (1981) 395-413.

Kawamura, K., and Naito, J.
Variaation of the dog cerebral sulci, compared in particular with those of the cat, J. Hirnforsch. 19 (1978) 457-467.

Kawamura, K., and Naito, J.
Corticocortical projections to the prefrontal cortex in the rhesus monkey investigated with horseradish peroxidase techniques, Neurosci. Res. 1 (1984) 89-103.

Kawamura, K., and Norita, M.
Corticoamygdaloid projections in the rhesus monkey. An HRP study, Iwate med. Ass. 32 (1980) 461-465.

Kawamura, K., Kase, M., Ohno, M., Hashikawa, T., and Kato, M.
Visual inputs to the dorsocaudal fastigial nucleus of the cat cerebellum.　An experimental study using single unit recordings and horseradish peroxidase labeling , Arch. Ital. Biol. 128 (1990) 295-314.

川村光毅、小幡邦彦

情動の機構と歴史的考察　脳の科学、20(1998) 709-716.

Kawamura, K., Ohyama, K., and Nakahara, J.
T/EBP(Nkx 2.1) knock-out mice exhibit developmental defects of neuronal circuits in the ventral forebrain area, 15th International Congress of Anatomists at Rome, September 11-16,1999

川村光毅、小野勝彦
大脳辺縁系の解剖学、Clinical Neurosci. 5 (1987) 132-138.

Kawamura, K., and Otani, K.
Corticocortical fiber connections in the cat cerebrum: the frontal region, J. comp. Neurol., 139 (1970) 423-448.

Kawamura, K., Tsubokawa, T., and Tan-Takeuchi, K.
魚の情動と哺乳動物の情動，　岡崎（生理研研究会、「情動の生物学的意義と機構」）Sept., 1999

川野仁
中脳ドーパミンニューロンと情動機能、p.138-p.161、In: 情と意の脳科学－人とは何か、pp.321, 松本元、小野武年（編）,2002、培風館

Kawano, H., Fukuda, T., Kubo, K., Horie, M., Uyemura, K., Takeuchi, K., Osumi, N., Eto, K., and Kawamura, K.
Pax-6 is required for thalamocortical pathway formation in fetal rats, J. Comp. Neurol. 408 (1999) 147-160.

Kawano, H., Honma, S., Honma, A., Horie, M., and Hayashi, S.
Melanin-concentrating hormone neuron system: the wide web that control the feeding, Anat. Sci.Intn. 77 (2002) 145-160.

Kawano, H., Ohyama, K., Kawamura, K. and Nagatsu, I.
Migration of dopaminergic neurons in the embryonic mesencephalon of mice, Developm. Brain Res. 86 (1995) 101-113.

Kawato, M., and Gomi, H.
A computational model of four regions of the cerebellum based on feedback-error learning, boil. Cybern. 68 (1992a) 95-103.

Kawato, M., and Gomi, H.
The cerebellum and VOR/OKR learning models, Trends Neurosci. 15 (1992b) 445-453.

Keil, A., Mueller, M.M., Ray, W.J., Gruber, T., and Elbert, T.
Human gamma band activity and perception of a Gestalt, J.Neurosci. 19 (1999) 7152-7161.

Kemp, J.M. and Powell, T.P.S.
The corticostriate projection in the monkey, Brain 93 (1970) 525-546.

Kempermann, H.G., Kuhn, G., and Gage, F.H.
More hippocampal neurons in adult mice living in an enriched environment, Nature 386 (1997) 493-495.

Kerns, J.G., Cohen, J.D., MacDonald III, A.W., Johson, M.K., Stenger, V.A., Aizenstein, H., and Carter, C.S.
Decreased conflict –and error– related activity in the anterior cingulated cortex in subjects with schizophrenia, Am J. Psychiat. 162 (2005) 1833-1839.

Khan, Z.U., Gutierrez, A., Martin, R., Penafiel, A., Rivera, A., and De La Calle, A.
Differential regional and cellular distribution of dopamine D2-like receptors: an immuneocytochemical study of subtupe-specific antibodies in rat and human brain, J. comp. Neurol. 402 (1998) 353-371.

Kikkawa, F., Gonzalez, F. J., and Kimura, S.
Characterization of a thyroid-specific enhancer located 5.5 kilobase pairs upstream of the human thyroid peroxidase gene, Mol. Cell. Biol. 10 (1990) 6216-6224.

Kikyo, H., Ohki, K., and Miyashita, Y.
Neural correlates for feeling of knowing: an fMRI parametric analysis, Neuron 36 (2002) 177-186.

Kim, J.J., and Baxter, M.G.
Multiple brain-memory systems: the whole does not equal the sum of its parts, Trends in Neurosci. 24 (2001) 324-330.

Kim, S.-G., Ugurbil, K., and Strick, P.L.
Activation of cerebellar output nucleus during cognitive processing, Science 265 (1994) 949-951.

King, A.J., and Palmer, A.R.
Cell responsive to free-field auditory stimuli in guinea-pig superiior colliculus: distribution and response properties, J. Physiol. (Lond.) 342 (1983) 361-381.

切替辰哉
多次元精神医学－ E.　クレッチメルの軌跡、1978,　金剛出版

Kitagawa, R., and Ichihara, S.
Hearing visual motion in depth, Nature 416 (2002) 172-174.

Kleist, K.
Gehirnpathologie, 1408pp, 1934, Leipzig, Verlag von Johann ambrosius Barth.

Klüver, H., and Bucy, P.C.
Preliminary analysis of functions of the temporal lobe in monkeys, Arch. Neurol. Psychiatr. 42 (1939) 979-1000.

Knudsen, E.I., and Konishi, M.

A neural map of auditory space in the owl, Science 200 (1978) 795-797.

Kobayashi, S., Lauwereyne, J., Koizumi, M., Sakagami, M., and Hikosaka, O.
Influence of reward expectation on visuospatial processing in macaque lateral prefrontal cortex, J. Neurophysiol. 87 (2002) 1488-1498.

Koelsch, S., Gunter, T., Friederici, A.D., and Schroeger, E.
Brain indices of music processing: "nonmusicians" are musical, J. Cognit. Neurosci. 12 (2000) 520-241.

Kohara, K., Kitamura, A., Adachi, N., Nishida, M., Itami, C., Nakamura, S., and Tsumoto, T.
Inhibitory, but not excitatory cortical neurons require presynaptic BDNF for dendritic development, as revealed by chimera cell culture,J. Neurosci., 23 (2003) 6123-6131.

Kohara, K., Kitamura, A., Morishima, M., and Tsumoto, T.
Activity-dependent transfer of brain-derived neurotrophic factor to postsynaptic neurons, Science 291 (2001) 2419-2423

国民衛生の動向、厚生の指標、52/9（臨時増刊）2005 年、厚生統計協会 .

小俣和一郎
精神病院の起源、１９９８、大田出版

Konishi, S., Nakajima, K., Uchida, I., Kameyama, M., Nakahara, K., Sekihara, K., and Miyashita, Y.
Transient activation of inferior prefrontal cortex during cognitive shifting, Nat. Neurosci. 1 (1998) 80-84.

Konno, T.
Patterns of organization of the corticotectal projection of cats studied by means of the anterograde degeneration method, J. Hirnforsch. 20 (1979) 433-444.

小山純正、香川雪彦
脳幹アセチルコリンと睡眠・覚醒、Brain Medical 11 (1999) 11-19.

Kral, A., Hartmann, R., Tillein, J., Heid, S., and Klinke, R.
Hearing after congenital deafness: central auditory plasticity and sensory deprivation, Cerebral Cortex 12 (2002) 797-807.

Kretchmer, E.
Der sensitive Beziehungswahn, 1918, Berlin Verlag von Julius Springer.

Kretchmer, E.
Körperbau und Charakter, 1921, Berlin Verlag von Julius Springer.

Kretchmer, E.
Medizinische Psychologie, Elfte Auflage, 1956, Georg Thieme Verlag-Stuttgaart.

Kubicki, M., Westin, C.-F., Maier, S.E., Frumin, M., Nestor, P.G., Salisbury, D.F., Kikinis, R., Jolesz, F.A., McCarley, R.W., and Shenton, M.E.
Uncinate fasciculus findings in schizophrenia: a magnetic resonance diffusion tensor imaging study, Am. J. Psychiatry 159 (2002) 813-820.

工藤雅治
聴覚の大脳生理、神経進歩 48 (2004) 222-233.

Kudoh, M., and Shibuki, K.
Importance of polysynaptic inputs and horizontal connectivity in the generation of tetanus-induced long-term potentiation in the rat auditory cortex, J. Neurosci.17 (1997) 9458-9465.

Kulkarni, A.S., Rahwan, R.G., and Bocknik, S.E.
Muricidal block induced by 5-hydroxytryptophan in the rat, Arch. Int. Pharmacodyn. 201 (1973) 308-313.

倉知正佳
生物学的立場から臨床精神病理学を問う；精神分裂病、精神医学レヴュー 40 (2001) 60-68.

Kurachi, M.
Pathogenesis of schizophrenia: part II. Temporo-frontal two-step hypothesis. Psychiat. Clin. Neurosci. 5 (2003) 9-15.

呉秀三、樫田五郎
精神病者私宅監置ノ実況及ビ其統計的観察、東京医学会雑誌 32/10-13 (1918)；「精神病者私宅監置ノ実況」内務省衛生局、1918.

車地暁生
神経発達障害仮説からみた精神分裂病の病因と予防。臨床精神医学 29 (2000) 381-389

Kuypers, H.G.J.M.
An anatomical analysis of cortico-bulbar connexions to the pons and lower brain stem in the cat, J. Anat. (Lond.) 92 (1958) 198-218.

Kuypers, H.G.J.M., and Lawrence, D.G.
Cortical projections to the red nucleus and the brain stem in the rhesus monkey, Brain Res. 4 (1967) 151-188.

Laine, J., and Axelrad, H.
Extending the cerebellar Lugaro cell class, Neuroscience 115 (2002) 363-374.

Lambert, M.V., Brierley, B., Al-Sarraj, S., Shaw, P., Polkey, C.E., Chandler, C., Toone, B.K., and David, A.S.
Quantitative magnetic resonance imaging of the amygdale in temporal lobe epilepsy — clinico-pathological correlations (a pilot study), Epilepsy Res. 53 (2003) 39-46.

Langheim, F.J.P., Callicott, J.H., Mattay, V.S., Duyn, J.H., and Weinberger, D.R.
Cortical systems associated with covert music rehearsal, NeuroImage 16 (2002) 901-908.

Laurienti, P.J., Wallace, M.T., Maldjian, J.A., Susi, C.M., Stein, B.E., and Burdette, J.H.
Cross-modal sensory processing in the anterior cingulate and medial prefrontal cortices, Human Brain Mapping 19 (2003) 213-223.

Lauwereyns, J., Koizumi, M., Sakagami, M., Hikosaka, O., Kobayashi, S., and Tsutsui, K.
Interference from irrelevant features on visual discrimination by macaques (Macaca fuscata); a behavioral analogue of the human Stroop effect, J. Exp. Psychol. 26 (2000) 352-357.

Lauwereyns, J., Sakagami, M., Tsutsui, K., Kobayashi, S., Koizumi, M., and Hikosaka, O.
Responses to task-irrelevant visual features by primate prefrontal neurons, J. neurophysiol. 86 (2001) 2001-2010.

Lauwereyns, J., Takikawa, y., Kawagoe, R., Kobayashi, S., Koizumi, M., Coe, B., Sakagami, M., and Hikosaka, O.
Feature-based anticipation of cues that predict reward in monkey caudate nucleus, Neuron 33 (2002) 463-473.

LeDoux, J.
The Emotional Brain. The Mysterious Underpinnings of Emotional Life, Weidenfeld & Nicolson, 1998. 松本元、川村光毅、小幡邦彦、石塚典生、湯浅茂樹 訳 ：エモーショナル・ブレイン、情動の科学、2003、東京大学出版会

Leiner, H.C., Leiner, A. L., and Dow, R. S.
Does the cerebellum contribute to mental skills ? Behav. Neurosci. 100 (1986) 443-454.

Leiner, H.C., Leiner, A.L., and Dow, R.S.
Cognitive and language functions of the human cerebellum, Trends Neurosci. 16 (1993) 444-447.

LeVay, S., Wiesel, T.N., and Hubel, D.H.
The development of ocular dominance columns in normal and visually deprived monkeys, J. Comp. Neurol. 191 (1980) 1-51.

Levy, R., Goldman-Rakic, P.S.
Segregation of working memory functions within the dorsolateral prefrontal cortex, Exp. Brain Res. 133 (2000) 23-32.

Linnoila, V. M., and Virkkunen, M.
Aggression, suicidality, and serotonin, J. Clin. Psychiat. 53 (1992): 46-51

Loeber, R.T., Cintron, C.M., and Yurgelun-Todd, D.A.
Morphometry of individual cerebellar lobules in schizophrenia, Am. J. Psychiat. 158 (2001) 952-954.

Lorente de Nó, R.
Studies on the structure of the cerebral cortex. I.The area entorhinalis, J. Psychol. Neurol. (Lpz.) 45 (1933) 381-438.

Lorente de Nó, R.
Studies on the structure of the cerebral cortex. II. Continuation of the studies of the Amnonic system, J. Psychol. Neurol. (Lpz.) 46 (1934) 117-177.

Luppino, G., Matelli, M., Camarda, R., and Rizzolatti, G.
Corticocortical connections of area F3 (SMA-proper) and area F6 (pre-SMA9 in the macaque Monkey, J.comp. Neurol. 338 (1993) 114-140.

Luppino, G., Murata, A., Govoni, P., and Matelli, M.
Largely segregated parietofrontal connections linking rostral intraparietal cortex (areas AIP and VIP) and the ventral premotor cortex (areas F5 and F4) , Exp.Brain Res. 128 (1999) 181-187.

Luppino, G., Rozzi, S., Calzavara, R., and Matelli, M.
Prefrontal and agranular cingulated projections to the doesal premotor areas F2 and F7 in the macaque monkey, European J. Neurosci. 17 (2003) 559-578.

Luria, A.R.
Basis of Neuropsychology, Moscow Univ. Press (in Russian), 1973, 神経心理学の基礎（鹿島晴雄訳)、1999 (第二版) 、医学書院

Macaluso, E., Frith, C.D., and Driver, J.
Modulation of human visual cortex by crossmodal spatial attention, Science 289 (2000) 1206 -1208.

MacLean, P. D
Studies on limbic system ("visceral brain") and their bearing on psychosomatic problems. In: Recent Development in Psychosomatic Medicine (R.Cleghorn and E.Wittkower eds.) (1954) pp.101-125, Pitman, London.

MacLean, P. D.
A triune concept of the brain and behavior, In : The Hincks Memorial Lectures, eds by Boag, T.,and Cambell, D., Univ. of Tronto Press, Tronto, 1973, pp6-66.

MacLean, P. D.
On the origin and progressive evolution of the triune brain. In: Primate Brain Evolution: Methods and Concepts (E.Armstrong and D.Falk eds.) (1982) pp.291-316, New York, Plenum Press.

MacLusky, N.J. and Naftolin, F.
Sexual differentiation of the central nervous system, Science 211 (1981) 1294-1302.

前田貴記、鹿島晴雄
知覚の体制化の異常について―統合失調症の症状形成機構の神経心理学的検討―、Schizophrenia Frontier 4 (2003) 101-107.

Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., and Friederici, A. D.
Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study, Nature Neurosci. 4 (2001) 540-545.

Maguire, E.A., Gadian, D.G., Johnsrude, I.S. et al.
Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers, Proc.Natl.Acad. Sci USA 97 (2000) 4398-4403.

Manes, F., Springer, J., Jorge, R., and Robinson, R.G.
Verbal memory impairment after left insular infaction, Neurol. Neurosurg. Psychiat. 67 (1999) 532-534.

Maquet, P., Peters, J.M., Aerts, J., Delfiore, G., Degueldre, C., Luren, A., and Franck, G.
Functional neuroanatomy of human rapid-eye-movement sleep and dreaming, Nature 383 (1996) 163-166.

丸山直滋
聴覚情報の受容と認識、新医学体系７、刺激の受容と生体運動、中山書店、pp.91-113, 1995.

Marx, K.
経済学・哲学手稿、1844.

Masson, G.L., Masson, S.R.-L., Debay, D., and Bal, T.
Feedback inhibition controls spike transfer in hybrid thalamic circuits, Nature 417 (2002) 854-858.

Matelli, M., Govoni, P., Galletti, C., Kutz, D.F., and Luppino,G.
Superior area 6 afferents from the superior parietal lobule in the macaque monkey, J. com. Neurol. 402 (1998) 327-352.

Matelli, M., and Luppino, G.
Parietofrontal circuits: parallel channels for sensory-motor integrations, Adv. Neurol. 84 (2000) 51-61.

Matelli, M., Luppino, G., and Rizzolatti, G.
Convergence of pallidal and cerebellar outputs on the frontal motor areas, Acta Biomed. Ateneo Parmense 66 (1995) 83-92.

Mathiak, K., Hertrich, I., Grodd, W., and Ackermann, H.
Cerebellum and speech perception: a functional magnetic resonance imaging study, J. Cognitive Nerosci. 14 (2002) 902-912.

Matsukawa K., Kamei H., Minoda K., and Udo M.
Interlimb coordination in cat locomotion investigated with perturbation. I. Behavioral and electromyographic study on symmetric limbs of decerebrate and awake walking cats, Exp. Brain Res. 46 (1982) 425-37.

松本元、小野武年（編）
情と意の脳科学－人とは何か、2002、培風館

松浦雅人、松田哲也、大久保起延、大久保博美、小島卓也、泰羅雅登
精神分裂病の眼球運動異常と機能的 MRI、臨床脳波　43 (2001) 767-773.

Matthes, H.W., Maldonado,R., Simonin, F., Valverde, O., Slowe, S., Kitchen, I., Befort, K., Dierich, A., LeMeur, M., Dolle, P., Tzavara, E., Hanoune, J., Roques, B.P., and Kieffer, B.L.
Loss of morphine-induced analgesia, reward effect and withdrawal symptoms in mice lacking the mu-opioide-receptor gene, Nature 383 (1996) 819-823.

Maunsell, J.H.R. and Van Essen, D.C.
The connections of the middle temporal visual area (MT) and their relationship toa cortical hierarchy in the macaque monkey, J. Neuroscience 3 (1983) 2563-2586.

McFarland, N.R., and Haber, S.N.
Thalamic relay nuclei of the basal ganglia form both reciprocal and nonreciprocal cortical connections, linking multiple frontal cortical areas, J.Neurosci. 22 (2002) 8117-8132.

McGuire, P.K., Shah, G.M.S., and Murray, R.M.
Increased blood flow in Broca's area during auditory hallucination in schizophrenia, Lancet 342 (1993) 703-706.

McKeefry, D.J., and Zeki, S.
The position and topography of the human colour centre as revealed by functional magnetic resonance imaging, Brain 120 (1997) 2229-2242.

McKitrick, D.J.
Expression of fos in the hypothalamus of rats exposed to warm and cold temperatures, Brain Res. Bull. 53 (2000) 307-315.

Melchner, L. von, Pallas, S. L., and Sur, M.
Visual behaviour mediated by retinal projections directed to the auditory pathway, Nature 404 (2000) 871-876.

Merzenich, M.M., and Brugge, J.F.
Representation of the cochlear partition on the superior temporal plane of the macaque monkey, Brain Res. 50 (1973) 275-296.

Michotte, A.
La perception de la causalite. 1963, English transl. by Miles, T.R. & Miles, E. Methuen, London.

Middleton, F.A., and Strick, P.L.
Basal-ganglia 'projections' to the prefrontal cortex of the primate, Cerebral Cortex 12 (2002) 926-935.

Miller, E.K., and Cohen, J.D.
An integrative theory of prefrontal cortex function, Annu. Rev. Neurosci. 24 (2001) 167-202.

Miller, E.K. Nieder, A., Freedman, D.J., and Wallis, J.D.
Neural correlates of categories and concepts, Current Opinion Neurobiol. 13 (2003) 198-203.

Milner,A.D.,and Goodale, M.A.
Visual pathways to perception and action, Prog. Brain Res. 95 (1993) 317-337.

Mink, J.W.
Basal Ganglia, Chapter 34 (p. 951-p.972) of Fundamental Neuroscience, pp. 1600, Ed. by Zigmond, M.J., Bloom, F.E., Landis, S.C., Roberts, J.L., Squire, L.R., Academic Press, 1999, Sandiego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Tronto.

Mishkin, M.
A memory system in the monkey, Phil Trans. R Soc Lond B Biol Sci. 298 (1982)83-95.

Mishkin, M., and Ungerleider, L.G.
Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-preoccipital cortex in monkeys, Behav. Brain Res. 6 (1982) 57-77.

Mitchell, J.B., and Gratton, A.
Involvement of mesolimbic dopamine neurons in sexual behaviors : implications for the neurobiology of motivation, Rev. Neurosci. 5 (1994) 317-329.

Miyachi,S., Hikosaka, O., Miyashita, K., Karadi, Z., and Rand, M.K.
Differential roles of monkey striatum in learning of sequential hand movement, Exp. Brain Res. 115 (1997) 1-5.

Miyamoto, H., Katagiri, H., and Hensch, T.
Experience-dependent slow –wave sleep development, Nature Neurosci. 6 (2003) 553-554.

宮里勝政
ニコチン依存ならびに報酬効果に関する新展開、日薬理誌　117 (2001) 27-34.

Mizuhara, H., Wang, L-Q., Kobayashi, K., and Yamaguchi, Y.
A long-range cortical network emerging with theta oscillation in a mental task, Neuroreport 15 (2004) 1233-1238.

Mizuhara, H., Wang, L-Q., Kobayashi, K., and Yamaguchi, Y.
Long-range EEG phase-synchronization during an arithmetic task indexes a coherent cortical network simultaneously measured by fMRI, NeuroImage (2005) in print.

Monakow, C. v.
Die Lokalisation im Grosshirn und der Abbau der Funktion durch kortikale Herde, Wiesbaden, Bergmann, 1914.

森茂美
脳の巧みさと立つ・歩く仕組み、 科学　72 (2002) 344-352.

Mori, S., Matsuyama, K., Mori, F., and Nakajima, K.
Supraspinal sites that induce locomotion in the vertebrate central nervous system, Advances in Neurology 87 (2001) 25-40.

Mori, S., Shik, M.L., and Yagodnitsyn, A.S.
Role of pontine tegmentum for locomotor control in mesencephalic cat, J. Neurophysiol. 40 (1977) 284-295.

Morris,R.G.M., Garrud, P., Rawlins, J.N.P., and O'Keefe, J.
Place navigation impaired in rats with hippocampal lesions, Nature 297 (1982) 681-683.

Moruzzi, G., and Magoun, H. W.
Brain stem reticular formation and activation of the EEG, Electroencceph. Clin. Neurophysiol. 1 (1949) 455-473.

Motter, B.C., and Mountcastle, V.B.
The function properties of the posterior parietal cortex studied in waking monkeys: foveal sparing and opponent vector organization, J. Neurosci. 1 (1981) 3-26.

Mountcastle, V.B.
Modality and topographic properties of single neurons of cat's somatic sensory cortex, J. Neuroscysiol. 20 (1957) 408-434.

Mountcastle, V.B., CoV1an M.R., and Harrison, C.R.
The central representation of some forms of deep sensibility, Ass. Res. Nerv. Dis. Proc. 30 (1952) 339-370.

Mountcastle, V.B., Lynch J.C., Georgopopulos, A., Sakata, H., and Acuna,C.
Posterior parietal association cortex of the monkey: command functions for operations within extrapersonal space, J. Neurophysiol. 38 (1975) 871-908.

永井道明、岸浩一郎、加藤敏
大脳皮質島葉の構造と諸機能―最近の研究の展望―、神経進歩 46 (2002) 157-173.

中原裕之、銅谷賢治、彦坂興秀
順序動作の学習の脳内ネットワーク、脳の科学 22 (2000a) 1075-1085.

中原裕之、銅谷賢治、彦坂興秀
大脳皮質―大脳基底核回路の運動制御における機能、BSIS Technical Reports (2000b) No.00-5.

Nakahara, K., Hayashi, T., Konishi, S., and Miyashita, Y.
Functional MRI of macaque monkeys performing a cognitive set-shifting task, Science 295 (2002) 1532-1536.

中村加枝
大脳皮質－基底核関連と情報統合－手続き記憶と閉回路システムによる 'Executive function'、Brain Medical 13 (2001) 343-352.

Nakamura, K., Sakai, K., and Hikosaka, O.
Neural activity in medial frontal cortex during learning of sequential procedures, J. Neurophysiol. 80 (1998) 2671-2687.

Nakamura, K., Sakai, K., and Hikosaka, O.
Effects of local inactivation of monkey medial frontal cortex in learning of sequential procedures, J. Neurophysiol. 82 (1999) 1063-1068.

中田力
MR で脳の秘密にせまる (立花隆による紹介記事)、サイアス (SCIaS) 5/02 (2000) 122-129.

中沢一俊
海馬場所細胞と記憶、細胞工学 21 (2002) 991-998.

Nakazawa, L., Quirk, M.C., Chitwood, R.A., Watanabe, M., Yeckel, M.F., Sun, L.D., Kato, A., Carr, C.A., Johnston, D., Wilson, M.A., and Tonegawa,S
Requirement for hippocampal CA3 NMDA receptors in associative memory recall, Science 297 (2002) 211-218.

Nakazawa, L., Sun, L.D., Quirk, M.C., Rondi-Reig,L., Wilson, M.A., and Tonegawa,S.
Hippocampal CA3 NMDA receptors are crucial for memory acquisition of one-time experience, Neuron 38 (2003) 305-315.

Naya, Y., Yoshida, M., and Miyashita, Y.
Backward spreading of memory-retrieval signal in the primate temporal cortex, Science 291 (2001) 661-664.

新見嘉兵衛
神経解剖学、朝倉書店、1976.

Niki, H., Sugita, S., and Watanabe, M.
Modification of the activity of primate frontal neurons during learning of a go/no-go discrimination and its reversal : a progress report. In: Vision, Memory and the Temporal Lobe (eds. By Iwai, E., and Mishkin, M.), pp.295-304, Elsevier, New York, 1990.

Niki, H., and Watanabe, M.
Prefrontal and cingulate unit activity during timing behavior in the monkey, Brain Res. 171 (1979) 213-224.

Nimchinsky, E.A., Gilissen, E., Allman, J.M., Perl, D. P., Erwin, J.M., and Hof, P.R.
A neuronal morphologic type unique to humans and great apes, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 96 (1999) 5268-5273.

Ninokura, Y., Mushiake, H., and Tanji, J.
Representation of the temporal order of visual objects in the primate lateral prefrontal cortex, J. Neurophysiol. 89 (2003) 2868-2873.

Ninokura, Y., Mushiake, H., and Tanji, J.
Integration of temporal order and object information in the monkey lateral prefrontal cortex, J. Neurophysiol. 91 (2004) 555-560.

西川徹
薬物療法モデルを用いた分裂病の発症および再燃に関する遺伝子の探索、精神経誌 104 (2002) 487-492.

西川徹、山本直樹，土田英人，海野麻未、川口直恵
哺乳類脳における内在性 D －セリン、日本神経精神薬学雑誌 20 (2000) 33-39.

西川徹、海野麻未、梶中靖、橋本隆紀、戸田重誠、佐藤大輔、平岡秀一、掛山正心
分裂病の成因は薬理・生化学的アプローチから解明されるか。精神科治療学 12(1997)617-623.

Nishimura, T., Mikami, A., Suzuki, J., and Matsuzawa, T.
Descent of the larynx in chimpanzee infants, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 100(2003) 6930-6933.

Noga, B.R., Kriellaars, D.J., and Jordan, L.M.
The effect of selective brainstem or spinal cord lesions on treadmill locomotion evoked by stimulation of the mesencephalic or pontomedullary locomotor regions, J Neurosci. 11 (1991) 1691-1700.

Noguchi, Y., Takeuchi, T., and Sakai, K.
Lateralized activation in the inferior frontal cortex during syntactic processing: event-related optical topography study, Human Brain

Mapping 17 (2002d) 89-99.

野村実
シュヴァイツァー博士を語る、1961、白水社

Norita, M., and Kawamura, K.
Subcortical afferents to the monkey amygdala: an HRP study, Brain Res., 190 (1980) 225-230.

Nottebohm, F.
カナリヤの歌と神経発生、日経サイエンス　19 (1989) 80-89.

Ochiishi T, Saitoh Y, Yukawa A, Saji M, Ren T, Shirao T, Miyamoto H, Nakata H, Sekino Y
High level of adenosine A1 receptor-like immunoreactivity in the CA2/CA3a region of the adult rat hippocampus. Neuroscience 93 (1999) 955-967.

Oda,Y., and Nakanishi, I.
The distribution of cholinergic neurons in the human central nervous system, Histol. Histopathol.15 (2000) 825-838.

O'Doherty, J., Kringelback, M. L., Rolls, E.T., et al.
Abstract reward and punishment representation in the human orbitofrontal cortex, Nature Neurosci. 4 (2001) 95-102.

Ogasawara, K., and Kawamura, K.
Cells of origin and terminations of the trigeminotectal projection in the cat as demonstrated with the horseradish peroxidase and autoradiographic methods, Okajimas Folia Anat. Jpn. 58 (1982) 247-264.

Ohbayashi, M., Ohki, K., and Miyashita,Y.
Conversion of working memory to motor sequence in the monkey premotor cortex, Science 301 (2003) 233-236.

Ohyama, K., Kawano, H., Asou, H., Fukuda, T., Oohira, A., Uyemura, K., and Kawamura, K.
Coordinate expression of L1 and 6B4 proteoglycan/phosphacan is correlated with the migration of mesencephalic dopaminergic neurons in mice, Dev. Brain Res. 107 (1998) 219-226.

Ohyama, K., Kimura, S., Katayama, M., Kawamura, K.
Developmental defects of the limbic cortex and axon pathfinding of the anterior commissure in T/ebp (NKx 2.1) null mice, in preparaton

岡村均
細胞はいかにして時を刻むか―生物時計研究のルネサンス、細胞工学　20 (2001) 794-799.

O'Keefe, J., and Nadel, L.
The Hippocampus as a Cognitive Map, London, Oxford University Press, 1978.

O'Keefe, J., Recce, M.L.
Phase relationship between hippocampal place units and the EEG theta rhythm, Hippocampus 3 (1993) 317-330.

Okita, T.
Within-channel selection and event-related potentials during selective auditory attention, Psychophysiol, 26 (1989) 127-139.

沖田庸嵩
事象関連電位と認知情報処理―選択的注意の問題を中心として―、心理学研究 60 (1989) 320-335.

Okugawa, G., Sedvall, G., Nordstrom, M., Andreasen, N., Pierson, R., Magnotta, V., and Agartz, I.
Selective reduction of the posterior vermis in men with chronic schizophrenia, Schizophr. Res. 55 (2002) 61-67.

大久保起延、大久保博美、松浦雅人、芹沢秀和、西村玲子、鹿中紀子、松島英介、泰羅雅登、小島卓也
functional MRI による精神分裂病における眼球運動の研究、脳の科学　23 (2001) 767-774.

大村裕、坂田利家
脳と食欲―頭で食事をする、1996、共立出版

Ono, K., and Kawamura, K.
Migration of immature neurons along tangentially oriented fibers in the subpial part of the fetal mouse medulla oblongata, Exp. Brain Res. 78 (1989) 290-300.

Ono, K., and Kawamura, K.
Mode of neuronal migration of the pontine stream in fetal mice, Anat. Embryol. 182 (1990) 11-19.

Ono, T., and Nishijo, H.
Neurophysiological basis of emotion in primates: neuronal responses in the monkey amygdale and anterior cingulate cortex, In: The Cognitive Neurosciences, 2nd Ed. (Gazzaniga, M.S. ed.) pp. 1099-1114, 1999, MIT Press.

小野武年、西条寿夫
大脳辺縁系・大脳基底核における情と意の出力機構―本能、情動、生きる喜び－ p.2 － p.25、In: 情と意の脳科学－人とは何か、pp.321、松本元、小野武年（編）、2002、培風館 .

Ono, T., Squire, L.R., Raichle, M.E., Perrett, D.I., and Fukuda, M. (Eds.)
Brain Mechanisms of Perception and Memory － From Neuron to Behavior, 1993, Oxford Univ. Press, New York Oxford.

苧阪 (おさか) 直行

意識とは何か―科学の新たな挑戦、岩波科学ライブラリー 36, 1996, 岩波書店

Pandya, D.N., and Sanides, F.
Architectonic parcellation of the temporal operculum in rhesus monkey and its projection pattern, Z.Anat. Entwickl.-Gesch. 139 (1973) 127-161.

Papez, J.W.
A proposed mechanism of emotion, Arch. Neurol. Psychiatr. 79 (1937) 217-224.

Parent, A., and Hazrati, L.-N.
Functional anatomyof the basal ganglia. I. The cortico-basal ganglia-thalamo-cortical loop, Brain Res. Rev. 20 (1995a) 91-127.

Parent, A., and Hazrati, L.-N.
Functional anatomyof the basal ganglia. II. The place of subthalamic nucleus and external pallidum in basal ganglia circuitry, Brain Res. Rev. 20 (1995b) 128-154.

Patel, A.D., and Balaban, E.
Temporal patterns of human cortical activity reflect tone sequence structure, Nature 404 (2000) 80-84.

Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., and Holcomb, P. J.
Processing syntactic relations in language and music: an event-related potential study, J. Cognit. Neurosci. 10 (1998) 717-733.

Pavlov, I.P.
Lectures on the Activity of the Cerebral Hemisphere, (1927) Leningrad. 林 醰 訳、1937. 条件反射学 ―大脳両半球の働きに就いての講義―三省堂；川村 浩 訳、1975. 大脳半球の働きについて ― 条件反射学、岩波書店 .

Pavlov, I. P.
Conditioned Reflexes, An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex. (Transl. & Ed. by G.V. Anrep) 1927、Oxford Univ. Press.

Pavlov, I. P. (1941)
Lectures on Conditioned Reflexes, Vol.1 (The Higher Nervous Activity (Behaviour) of Animals) & Vol. 2 (Conditioned Reflexes and Psychiatry) , (Transl. & Ed. by W.H.Grantt) , Lawrence & Wishart Ltd., London

パヴロフ選集 （1949）上巻、下巻 （コシトヤンツ監修、東大ソ医研訳)、1962、合同出版社

Pavlov, I.P.
高次神経活動の客観的研究（第一章－第６３章)、1903 － 1936、ソ連科学アカデミー版、1951、岡田靖雄、横山恒子 訳、(1979) 岩崎学術出版社 .

Penfield, W., and Welch, K.
The supplementary motor area of the cerebral cortex. A clinical and experimental study, Arch. Neurol. Psychiat. (Chic.) 66 (1951) 289-317.

Penfield, W., and Roberts, L.
Speech and Brain-Mechanisms, 1959, Princeton, NJ, Princeton Univ. Press.

Perrett, D.I., Rolls, E.T., and Caan, W.
Visual neurones responsive to faces in the monkey temporal cortex, Exp. Brain Res. 47 (1982) 329-342.

Peterhaus, E., and von der Heydt, R.
Mechanisms of contour perception in monkey visual cortex. II. Contours bridging gaps, J. Neurosci. 9 (1989) 1749-1763.

Phelps, E. A,, Hirst, W., and Gazzaniga, M.S.
Deficits in recall following partial and complete commissurotomy, Cereb.Cortex 1 (1991) 492-498.

Phillips, M.L., Young, A.W., Senior, C., Brammer, M., Andrew, C., Calder, A.J., Bullmore, E.T., Perrett, D.I., Rowland, D., Williams, S.C.R., Gray, J.A. and David, A.S.
A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust, Nature 389 (1997) 495-498.

Phillips, M.L., Williams, L., Senior, C., Bullmore, E.T., Brammer, M. J., Andrew, C., Williams, S.C.R., and David, A.S.
A differential neural response to threatening and non-threatening negative facial expressions in paranoid and non-paranoid schizophrenics, Psychiat. Res. Neuroimag. Sec. 92 (1999) 11-31.

Pierce, K., Muller, R.A., Ambrose, J., Allen, G., and Courchesne, E.
Face processing occurs outside the fusiform ' face area ' in autism : evidence from functional MRI, Brain 124 (2001) 2059-2073.

Pincus, D.W., Keyoung, H.M., Harrison-Restelli, C., Goodman, R.R., Fraser, R.A., Edgar,M., Sakakibara,S., Okano,H., Nedergaard,M., and Goldman,S.A.
Fibroblast growth factor-2/brain-derived neurotrophic factor-associated maturation of new neurons generated from adult human subependymal cells, Ann Neurol. 43 (1998) 576-585.

Prabhakaran, V., Narayanan, K., Zhao, Z., and Gabrieli, J.D.E.
Intergration of diverse information in working memory within the frontal lobe, Nature Neurosci. 3 (2000) 85-90.

Premack, D., and Woodruff, G.
Does the chimpanzee have a theory of mind ? Behav. Brain Sci. 4 (1978) 515-526.

Price, M., Lazzaro, D., Pohl, T., Mattei, M.-G., Ruther, U., Olivo, J.-C., Duboule, D., and DiLauro, R.
Regional expression of the homeobox gene Nkx-2.2 in the developing mammalian fore brain, Neuron 8 (1992) 241-255.

Rauschecker, J.P.
Processing of complex sounds in the auditory cortex of cat, monkey, and man, Acta Otolaryngol. (Stockh) Suppl. 532 (1997) 34-38.

Rauschecker, J.P.
Cortical processing of complex sounds, Curr. Opin. Neurobiol. 8 (1998) 516-521.

Rauschecker, J.P.
Auditory cortical plasticity: a comparison with other sensory systems, Trends Neurosci. 22 (1999) 74-80.

Rauschecker, J.P.
Sensory deprivation, In: Encyclopedia of the Human Brain Vol.4, 2002a, Elsevier Science (USA).

Rauschecker, J.P.
Cortical map plasticity in animals and humans, Progr. Brain Res. 138 (2002b) 73-88.

Rauschecker, J.P., and Tian B.
Mechanisms and streams for processing of "what" and "where" in auditory cortex, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 97 (2000) 11800-11806. 酒田英夫（訳）：聴覚皮質における「対象」と「空間」の情報処理メカニズムとその経路、 神経進歩 46 (2002) 91-101.

Ribeiro, S., Mello, C.V., Velho, T., Gardner, T.J., Jarvis, E.D., and Pavlides, C.
Induction of hippocampal long-term potentiation during waking leads to increased extrahippocampal zif-268 expression during ensuing rapid –eye-movement sleep, J. Neurosci. 22 (2002) 10914-10923.

臨床精神医学
特集：NIRS による機能画像の新展開、33 巻 /6 号、2004 年、アークメディア。

Robinson, D.
Eye movements evoked by collicular stimulation in the alert monkey, Vision Res. 12 (1972)1795-1808.

Rogers, L.J. and Andrew, R.J. (Eds.)
Comparative Vertebrate Lateralizaation, 2002, Cambridge Univ. Press.

Romanski, L.M., Bates, J.F., and Goldman-Rakic P.S.
Auditory belt and parabelt projections to the prefrontal cortex in the rhesus monkey, J. comp. Neurol. 403 (1999) 141-157.

Romanski, L.M., Tian B., Fritz J., Mishkin M., Goldman-Rakic P.S., and Rauschecker, J.P.
Dual streams of auditory afferents target multiple domains in the primate prefrontal cortex, Nature Neurosci. 2 (1999) 1131-1136.

Rousseau, J.-J.
Essai sur L'origine des Langues. 言語起源論―旋律および音楽的模倣を論ず、1781、小林善彦訳 現代思潮社、1996

Rushworth, M.F.S., Hadland, K.A., Paus, T., and Sipila, P.K.
Role of human medial frontal cortex in task switching: a combined fMRI and TMS study, J. Neurophysiol. 87 (2002) 2577-2592.

Ryle, G.
The Concept of Mind. San Francisco, CA, Hutchinson, 1949

Sadato, N., Okada, T., Honda, M., Matsuki, K., Yoshida, M., Kashikura, K., Takei, W., Sato, T., Kochiyama, T., and Yonekura, Y.
Cross-modal integration and plastic changes revealed by lip movement, random-dot motion, and sign languages in the hearing and the deaf, Cereb. Cortex, in press , 2004.

Saito, D.N., Okada, T., Morita, Y., Yonekura, Y., and Sadato, N.
Tactile-visual cross-modal shape matching: a functional MRI study , Cognitive Brain Res. 17 (2003) 14-25.

斎藤治
精神疾患と脳科学―機能的・生物学的仮説と時間認識、こころの科学 100 (2001) 108-113.

Saitoh, O., Yumoto, M., Anami, K., and Utena, H.
Momentary color vision test and a new hypothesis of schizophrenia, submitted, 2002, also see Abstract,Vol.2, p.324, XII World Congress of Psychiatry, 2002, Yokohama.

Saito, Y., Nothacker, H.P., Wang, Z.,Lin, S.H., Leslie, F., and Civelli, O.
Molecular characterization of the melanin-concentrating –hormone receptor, Nature 400 (1999) 265-269.

Saji, M., Kobayashi, S., Ohno, K., and Sekino, Y.
Interruption of supramammillohippocampal afferents prevents the genesis and spread of limbic seizures in the hippocampus via a disinhibition mechanism, Neuroscience 97 (2000) 437-445.

坂上雅道、小泉昌司
行動抑制と前頭葉、Brain Medical 13 (2001) 29-35.

Sakagami, M., and Niki, H.
Encoding of behavioral significance of visual stimuli by primate prefrontal neurons: relation to relevant task conditions, Exp. Brain Res, 97 (1994a) 423-436.

Sakagami, M., and Niki, H.
Spacial selectivity of go/no-go neurons in monkey prefrontal cortex, Exp. Brain Res, 100 (1994b) 165-169.

Sakagami, M., and Tsutsui, K.
The hierarchical organization of decision making in the primate prefrontal cortex, Neurosci. Res. 34 (1999a) 79-89.

坂上雅道、筒井健一郎
神経活動から見た前頭前野の２つの柔軟性　－認知機能の背景として、 脳の科学 21 (1999b) 617-625.

Sakagami,M., Tsutsui,K., Lauwereyns,J., Koizumi,M., Kobayashi,S., and Hikosaka,O.
A code for behavioral inhibition on the basis of color, but not motion, in ventrolateral prefrontal cortex of macaque monkey, J.Neurosci. 21 (2001) 4801-4808.

坂井克之
学習における脳活動時系列変化の解析　－ fMRI を用いて、神経進歩 43 (1999) 542-551.

坂井克之
小脳によるタイミングとリズムの制御　—fMRI 実験を中心に、神経進歩 44 (2000) 783-791.

Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Sasaki, Y., Puetz, B.
Transition of brain activation from frontal to parietal areas in visuomotor sequence learning, J. Nuerosci. 18 (1998) 1827-1840.

Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Tamada, T., Iwata N.K., and Nielen, M.
Neural represention of a rhythm depends on its interval ratio, J. Neurosci. 19 (1999a) 10074-10081.

Sakai, K., Hikosaka, O., Takino R., Miyauchi, S., Nielsen M., and Tamada, T.
What and When: Parallel and convergent processing in motor control, J., Neurosci. 20 (2000) 2691-2700.

Sakai, K., and Passingham, R.E.
Prefrontal interactions reflect future task operations, Nature Neurosci. 6 (2003) 75-81.

Sakai, K., Rowe, J.B., and Passingham, R.E.
Active maintenance in prefrontal area 46 creates distractor-resistant memory, Nature Neurosci. 5 (2002) 479-484..

酒井邦嘉
言語の認知脳科学、生体の科学　49 (1998a) 10-22.

酒井邦嘉
言語獲得の脳科学、生体の科学　49 (1998b) 40-53.

酒井邦嘉
心にいどむ認知脳科学　記憶と意識の統一論、(2000a) 岩波書店

酒井邦嘉ら
第二３回日本神経科学大会、抄録集 307 頁、(2000b)

酒井邦嘉
言語の脳科学－脳はどのようにことばを生みだすか、(2002a) 中公新書、中央公論新社

Sakai, K.L., Hashimoto, R., and Homae, F.
Sentence processing in the cerebral cortex, Neurosci. Res. 39 (2001) 1-10

Sakai, K.L., Noguchi, Y., Takeuchi, T., and Watanabe, E.
Selective priming of syntactic processing by event-related transcranial magnetic stimulation of Broca's area, Neuron 35 (2002c) 1177-1182.

Sakata, H., Shibutani, H., and Kawano, K.
Spatial properties of visual fixation neurons in posterior perietal association cortex of the monkey, J. Neurophysiol. 43 (1980) 1654-1692.

Sakata, H., Shibutani, H., and Kawano, K.
Functional properties of visual tracking neurons in posterior parietal association cortex of the monkey, J Neurophysiol. 49 (1983) 1364-80.

Sakata, H., Taira, M., Kusunoki, M., Murata, A., and Tanaka, Y.
The parietal association cortex in depth perception and visual control of hand action, Trends Neurosci. 20 (1997) 350-357.

Sakata, H., Takaoka, Y., Kawarasaki, A., et al.
Somatosensory properties of neurons in the superior parietal cortex (area 5) of the rhesus monkey, Brain Res. 64 (1973) 85-102.

Saleem, K.S., Suzuki, W., Tanaka K., and Hashikawa, T.
Connections between anterior inferotemporal cortex and superior temporal sulcus regions in the macaque monkey, J. Neurosci. 20 (2000) 5083-5101.

Samejima, K., Ueda, Y., Doya, K., and Kimura, M.
Representation of action-specific reward values in the striatum, Science 310 (2005) 1337-1340.

Sanai, N., Tramontin, A.D., Quinones-Hinojosa, A., Barbaro, N.M., Gupta, N., Kunwar, S., Lawton, M.T., McDermott, M.W., Parsa, A.T., Manuel-Garcia Verdugo, J., Berger, M.S., and Alvarez-Buylla, A.
Unique astrocyte ribbon in adult human brain contains neural stem

cells but lacks chain migration, Nature 427 (2004) 740-744.

佐野豊
視床下部、医学書院、2003

Saper, C.B.,Chou, T.C. and Scammell, T.E.
The sleep swetch: Hypothalamic control of sleep and wakefulness, Trends Neurosci. 24 (2001) 726-731.

Sarter, M., and Parikh, V.
Choline transporters, cholinergic transmission and cognition, Nature Review Neuroscience 6 (2005) 48-56.

Sasaki, K.
Cerebro-cerebellar interconnections in cats and monkeys, In: Cerebrocerebellar Interactions, ed. by Massion, J., and Sasaki, K. pp. 105-124, Elsevier, Amsterdam, 1979.

佐々木和夫
随意運動における小脳の役割、p.80-p.101, In: 小脳の神経学、pp.325 伊藤正男、祖父江逸郎、小松崎篤、広瀬源二郎（編）、1986, 医学書院

Sasaki, K., and Gemba, H.
Action of the cerebello-thalamo-cortical projection upon visually initiated reaction-time hand movements in the monkey, Stereotact Funct Neurosurg 60 (1993) 104-120.

Sasaki, K., Gemba, H., Nambu, A., and Matsuzaki, R.
No-go activity in the frontal association cortex fo human subjects, Neurosci. Res. 18 (1993) 249-252.

Sasaki, K., Jinnai, K., Gemba, H., Hashimoto, S., and Mizuno, N.
Projection of the cerebellar dentate nucleus onto the frontal association cortex in monkeys, Exp Brain Res 37 (1979) 193-198.

Sasaki, K., Kyuhou, S., Nambu. A., Matsuzaki, R., Tsujimoto, T., and Gemba, H.
Motor speech centres in the frontal cortex, Neurosci. Res. 22 (1995) 245-248.

Sasaki, K., Nambu, A., Tsujimoto, T., Matsuzaki, R., Kyuhou, S., and Gemba, H.
Studies on integrative functions of the human association cortex with MEG, Cogn. Brain Res., 5 (1996) 165-174.

Sasaki, K., Tsujimoto, T., Nambu, A., Matsuzaki, R., and Kyuhou, S.
Dynamic activities of the frontal association cortex in calculating and thinking, Neurosci. Res. 19 (1994) 229-233.

佐藤光源
“燃え上がり効果”（Kindling effect）を用いたてんかんの実験的研究　I、海馬発作の発展過程に関する行動、脳波学的研究、精神経誌　77 (1975) 495-508.

佐藤光源
新しい精神医学・医療を開くための学会の現状と将来、精神経誌 105 (2003) 723-726.

Sawaguchi, T., and Goldman-Rakic, P. S.
D1 dopamine receptors in prefrontal cortex : involvement in working memory, Science 251 (1991) 947-950.

Sawaki, Y., Nihonmatsu, I., and Kawamura, H.
Tranplantation of the neonatal suprachiasmatic nuclei into rats with complete bilateral suprachiasmatic lesions, Neurosci. Res. 1 (1984) 67-72.

Sawamura, H., Shima, K., and Tanji, J.
Numerical representation for action in the parietal cortex of the monkey, Nature 415 (2002) 918-922.

Schell, G.R., and Strick, P.L.
The origin of thalamic inputs to the arcuate premotor and supplementary motor areas, J. Neurosci. 4 (1984) 539-560.

Schmahmann, J.D. (Ed.)
The Cerebellum and Cognition, Academic Press, San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Tronto, 1997.

Schmahmann, J.D., and Pandya, D.N.
The cerebrocerebellar system, pp.31-57, In: The Cerebellum and Cognition, Academic Press, San Diego etc. 1997.

Schmahmann, J.D., and Sherman, J.C.
The cerebellar cognitive affective syndrome, Brain 121 (1998) 561-579.

Schneider, K.
Klinische Psychopathologie , Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1950.

Schultz, R.T., Gauthier, I., Klin, A., Fulbright, R.K., Anderson, A.W., Volkmar, F., Skudlarski, P., Lacadie, C., Cohen, D.J., and Gore, J.C.
Abnormal ventral temporal cortical activity during face discrimination among individuals with autism and Asperger syndrome, Arch. Gen. Psychiat. 57 (2000) 331-340.

Schultz, W.
Predictive reward signal of dopamine neurons, J.Neurophysiol.80 (1998) 1-27.

Schultz, W., Dayan, P., and Montague, R
A neural substrate of prediction and reward, Science, 275 (1997) 1593-1599.

Schweitzer, A.

Aus meinem Leben und Denken, 1931, Felix Meiner Verlag, Leipzig, わが生活と思想より、竹山道雄訳、１９３９、白水社

Schweitzer, A.
Goethe, Gedenkrede － gehalten bei der Feier der 100. Wiederkehr seiner Todestages in seiner Vaterstadt Frankfurt a. M. am 22. Maerz 1932. ゲーテ、子栗孝則訳、1949、新教出版社

Scoville, W.B., and Milner, B.
Loss of ｒｅｃｅｎｔ ｍｅｍｏｒｙ ａｆｔｅｒ bilateral hippocampal lesions, J.Neurol. Neurosurg. Psychiatry ２０ (１９５７) １１－２１.

Sechenov, I. M.
Selected Physiological and Psychological Works, prepared for print by the Academy of Sciences of the U.S.S.R., Moscow. (1952-1956), Esp., Reflex of the Brain (1863)；The Elements of Thought (1878).

瀬川昌也
子どもの脳はいかにして人間の脳となるか－神経回路の発達からみた臨界齢、遺伝 58 (2004) 58-65.

「精神医学」特集・統合失調症とは何か－ Schizophrenia 概念の変遷、精神医学 45 (2003) 572-624.

Seki, K., Kudoh, M., and Shibuki, K.
Sequence dependence of post-tetanic potentiation after sequential heterosynaptic stimulation in the rat auditory cortex, J. Physiol. (Lond) 533 (2001) 503-518.

関健二郎、工藤雅治、渋木克栄
LTP に伴う興奮性反響回路形成と記憶・学習―聴覚野スライス標本を用いた反響回路の解析、Brain Medical 13 (2001) 337-342.

石龍徳
大人の脳でもニューロンは新生する：成体の海馬で新生するニューロンは学習や情動と関係しているのだろうか？ p.108-p.136、In: 情と意の脳科学－人とは何か、pp.321、松本元、小野武年（編）2002、培風館 .

Servan-Schreiber, D., Cohen, J.D., and Steingard, S.
Schizophrenic deficits in the processing of cortex; a test of theoretical model, Trch. Gen. Psychiat. 53 (1996) 1105-1112.

Sharma, J. Angelucci A. and Sur, M.
Induction of visual orientation modules in auditory cortex, Nature 404 (2000) 841-847.

Shaw, P., Lawrence, E.J., Radbourne, C., Bramham, J., Polkey, C.E., and David, A.S.
The impact of early and late damage to the human amygdale on 'theory of mind' reasoning, Brain 127 (2004) 1535-1548.

Shenton, M.E., Dickey, C.C., Frumin, M., and McCarley, R.W.
A review of MRI findings in schizophrenia, Schizophr. Res. 49 (2001) 1-52.

Shergill, S.S., Brammer, M.J., Williams, S.C.R., Murray, R.M., and McGuire, P.K.
Mapping auditory hallucinations in schizophrenia using functional magnetic resonance imaging, Arch. Gen. Psychiat. 57 (2000) 1033-1038.

Shibutani, H., Sakata, H., and Hyvarinen, J.
Saccade and blinking evoked by microstimulation of the posterior parietal association cortex of the monkey, Exp.Brain Res. 55 (1994) 1-8.

Shidara, M., and Richmond, B.J.
Anterior cingulate: single neuronal signals related to degree of reward expectancy, Science 296 (2002) 1709-1711.

Shik, M.L., and Orlovsky, G.N.
Neurophysiology of locomotor automatism, Physiol. Rev. 56 (1976) 465-501.

Shima., K., and Tanji., J.
Both supplementary and presupplementary motor areas are crucial for the temporal organization of multiple movements, J. neurophysiol. 80 (1998a) 3247-3260.

Shima., K., and Tanji., J.
Role of cingulate moter area cells in voluntary movement selection based on reward, Science 282 (1998b) 1335-1338.

Shima., K., and Tanji., J.
Neuronal activity in the supplementary and presupplementary motor areas for temporal organization of multiple movements, J. neurophysiol. 84 (2000) 2148-2160.

Shimada, M., Tritos, N.A., Lowell, B.B., Flier, J.S., and Maratos-Flier, E.
Mice lacking melanin-concentrating hormone are hypophagic and lean, Nature 396 (1998) 670-674.

島崎敏樹
心の眼に映る世界 現代教養文庫 340 1961 社会思想社

Shiwa, T.
Corticocortical projections to the monkey temporal lobe with particular reference to the visual processing pathways, Arch. Italien. Biol. 125 (1987) 139-154.

Sibley, D.R., and Monsma, F.J.
Molecular biology of dopamine receptors, Trends Pharmacol. Sci. 13 (1992) 61-69.

Siegel, M., and Varley, R.
Neural systems involved in theory of mind, Nat. Rev. Neurosci. 3 (2002) 463-471.

Skaggs, W.E., McNaughton, B.L., Wilson, M.A., and Barnes, C.A.
Theta phase precession in hippocampal neuronal populations and the compression of temporal sequences, Hippocampus 6 (1996) 149-172.

Snider, R.S., and Eldred, E.
Cerebral projections to the tactile, auditoy and visual areas of the cerebellum. (Abstract), Anat. Rec. 100 (1948) 714.

Snider, R.S., and Eldred, E.
Electro-anatomical studies on cerebro-cerebellar connections in the cat, J. Comp. Neurol., 95 (1951) 1-16.

Snider, R.S., and Stowell, A.
Receiving areas of the tactile, auditory and visual systems in the cerebellum, J. Neurophysiol. 7 (1944) 331-357.

Sowell, E.R., Thompson, P.M., Leonard, C.M., Welcome, S.E., Kaan, E., and Toga, A.W.
Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children, J. Neurosci. 24 (2004) 8223-8231.

Spielmeyer, W.
Die Pathogenese des epileptischen Krampfes. Histopathologischen Teil. Z. Neur. pp.109-, 1927.

Steinbusch, H.W.M.
Distribution of setonotin-immunoreactivity in the central nervous system of the rat cell bodies and terminals, Neuroscience 6 (1981) 557-618.

Stroop, J.R.
Studies of interference in serial verbal reactions, J. Exp. Psychology 18 (1935) 643-662.

Sun, F., and Yu, J.
The effect of a special herbal tea on obesity and anovulation in androgen-sterilized rats, Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 223 (2000) 295-301.

Sun, T., Patoine, C., Abu-Khalil, A., Visvader, J., Sum, E., Cherry, T.J., Orkin, S.H., Geschwind, D.H., and Walsh, C.A.
Eaarly asymmetry of gene transcription in embryonic human left and right cerebral cortex, Science (2005) 1794-1798.

Sunahara, R.K., Guan, H.C., O'Dowd, B. F., Seeman, P., Laurier, L.G., Ng, G., George, S.R., Torchia,J., Van Tol, H.H., and Niznik, H.B.
Cloning of the gene for a human dopamine D5 receptor with higher affinity for dopamine than D1, Nature 350 (1991) 614-619.

Surguladze, S.A., Brammer, M.J., Young, A.W., Andrew, C., Travis, M.J., Williams, C.R., and Phillips, M.L.
A preferential increase in the extrastriate response to signals of danger, NeuroImage 19 (2003) 1317-1328.

Suzuki, H.
Distribution and organization of visual and auditory neurons in the monkey prefrontal cortex, Vision Res. 25 (1985) 465-469.

鈴木道雄、倉知正佳
精神分裂病の神経発達障害仮説の特徴と問題点、精神科治療学 12 (1997) 503-512.

鈴木道雄、倉知正佳
精神分裂病の画像研究の臨床的意義、臨床の脳波 43 (2001) 774-779.

Swick, D., and Turken, A.U.
Dissociation between conflict detection and error monitoring in the human anterior cingulated cortex, PNAS 99 (2002) 16354-16355.

泰羅雅昇
頭頂葉―ヒトとサルの機能的 homology、脳の科学　24 (2002) 945-956.

高橋功
生命への畏敬、シュワイツァーの人間像、1975、玉川大学出版部。

高草木薫、斎藤和也、幅口達也、大日向純子
大脳基底核による歩行と筋緊張の制御、脳の科学　23 (2001) 1049-1054.

Tamamaki, N., Yanagawa, Y., Tomioka, R., Miyazaki, J., Obata, K., and Kaneko, T.
Green fluorescent protein expression and colocatization with calretinin, parvalbumin, and somatostatin in the GAD67-GFP knock-in mouse, J.comp.Neurol. 467 (2003) 60-79.

丹治 順
脳と運動ーアクションを実行させる脳　　1999　共立出版。

丹治順
運動の順序制御に関与する運動領野、In: 脳の高次機能（丹治順、吉澤修治編）、83-93 頁、2001、朝倉書房

Tei, H., Okamura, H., Shigeyoshi, Y., Fukuhara, C., Ozawa, R., Hirose, M., and Sakaki, T.
Circadian oscillation of a mammalian homologue of the Drosophila periode gene, Nature 389 (1997) 512-516.

Tekin, S. and Cummings, J.L.

Fronto-subcortical neuronal circuits and clinical neuropsychiatry, an update, J. Psychosom. Res. 53 (2002) 647-654.

寺沢恒信
意識論　1984　大月書店

Thorpe, S.j., and Fabre-Thorpe, M.
Seeking categories in the brain, Science 291 (2001) 260-263.

時実利彦
目でみる脳＝その構造と機能、1969、東京大学出版会 .

Tomita, H., Ohbayashi, M., Nakahara, K., Hasegawa, I., and Miyashita, Y.
Top-down signal from prefrontal cortex in executive control of memory retrieval, Nature 401 (1999) 699-703.

Tsien, J.S., Hyuerta, P.T., and Tonegawa, S.
The essential role of hippocampal Ca1 NMDA receptor-dependent plasticity in spatial memory, Cell 87 (1996) 1327-1338.

坪川達也
社会行動と魚の脳、慶應義塾大学日吉紀要自然科学　26 (1999) 1-10.

Tsuchida, H., Yamamoto, N., Kajii, Y., Umino, A., Fukui, K., and Nishikawa, T.
Cloning of a D-serine-regulated transcript dsr-1 from the rat cerebral cortex, Biochem. Biophys. Res. Comm. 280 (2001) 1189-1196.

角田忠信
日本人の脳　1978　大修館。

角田忠信
右脳と左脳―脳センサーでさぐる意識下の世界　1992　小学館。

Tsutsui, K., Sakata, H., Naganuma, T., and Taira, M.
Neural correlates for perception of 3D surface orientation from texture gradient, Science 298 (2002) 409-412.

Tsutsui, K., Jiang, M., Sakata, H., Taira, M.
Short-term memory and perceptual decision for three-dimensional visual features in the caudal intraparietal sulcus(Area CIP), J. Neurosci. 23 (2003) 5486-5495.

Uchimura, Y.
Zur Pathogenese der örtlich elektiven Ammonshornerkrankung, Zeitsch. f. ges. Neurol. Psych. 114 (1928) 567-601.

内村祐之
精神医学の基本問題、1972、医学書院。

植村秀治、北村吉宏、木村宏
側頭葉てんかんにおける歯状回苔状線維発芽とシナプス再構成の意義。脳と精神の医学　7 (1996) 337-344.

Uno, M., and Ozawa, N.
Amygdaloid kindling and augmentation of synaptic responses in the accumbens and caudate nuclei in the cats, Folia psychiat. Neurol. Jap. 37 (1983) 369-371.

Utena, H.
A special type of model psychosis: a chronic methamphetamine intoxication in man and animal, 脳神経　13 (1961) 687-692.

臺弘
履歴現象と機能的切断症状群。精神医学 21 (1979) 453-463.

臺弘
分裂病の治療覚書。1991、創造出版 .

臺弘
脳と心は言葉で出会う。蛋白質 核酸 酵素 40 (1995) 596-598. (生体の科学　33 , 1982, 243-249 参照)

臺弘
情動・記憶・意欲をいかにとらえるか ―分裂病の場合。脳の科学　20 (1998) 717-722.

臺弘
精神医学の思想－医療の方法を求めて、第二版、1999、創造出版 .

臺弘
脳とこころは「ことば」＜カタチ＞で出会う。臨床精神病理 21 (2000) 205-214.

Utena, H.
Life-oriented approach to treatment and simple functional tests for clinical practice, pp. 3-12, In :Comprehensive Treatment of Schizophrenia, Linking Neurobehavioral Findings to Psychosocial Approaches, eds by Kashima, H., Falloon, I.R.H., Mizuno, M., and Asai, M. 2002a, Springer-Verlag Tokyo.

臺弘
精神機能の基本的指標―簡易テストの工夫、精神科治療学　18 (2003) 1455-1458.

臺弘、斎藤治
分裂病者診療の目標 －自由と病気と生活、In: 新世紀の精神科治療、中山書店（2002b）3-14.

Vaadia, E., Benson, D.A., Hienz, R.D., and Goldstein, Jr., M.H.
Unit study of monkey frontal cortex: active localization of auditory and of visual stimuli, J. Neurophysiol. 56 (1986) 934-952.

Van Hoesen, G.W.

The parahippocampal gyrus. New observation regarding its cortical connections in the monkey, Trends Neurosci. 5 (1982) 345-353.

Van Tonder, G.J., Lyons, M.J., and Ejima, Y.
Visual structure of a Japanese Zen garden, Nature 419 (2002) 359-360.

Vikkunen, M.E., Horrobin, D.F., Jenkins, D.K., and Manku, M.S.
Plasmaphospholipid essential fatty acids and prostaglandins in alcoholic, habitually violent, and impulsive offenders, Biol. Psychiatry 22 (1987) 1087-1096.

Vikkunen, M.E., and Penttiner, H.
Serum cholesterol in aggressive conduct disorder: a preliminary study, Biol. Psychiatry 19 (1984) 435-439.

Vincent, J-D
Biologie des Passions,1986,1993、Ed.Odile Jacob, 感情の生物学、安田一郎訳、青土社、1993

Vogt, B.A., and Devinsky, O.
Topography and relationships of mind and brain, Prog. Brain Res. 122 (2000) 11-22.

Volz, H., Gaser, C., and Sauer, H.
Supporting evidence for the model of cognitive dysmetria in schizophrenia — a structural magnetic resonance imaging study using deformation- based morphology, Schizophr. Res. 46 (2000) 45-56.

Voogd,J.
The Cerebellum of the Cat. Structure and Fibre connexions. Thesis. Assen,Van Gorcum,215 pp.,1964.

Voogd,J.
The importance of fiber connections in the comparative anatomy of the mammalian cerebellum. In:R.Linas(ed.)Neurobiology of Cerebellar Evolution and Development, p.493-514, Education&Research Foundation, Chicago, Ill., 1969.

Vygotsky, L.S.
Development of the Higher Mental Function, (in Russian), 1960, Acad. Pedagog. Sci. Press RSFSR, Moscow, 精神発達論（除村吉太郎、柴田義松訳）1964、明治図書

Walberg, F., Pompeiano, O., Westrum, L.E., and Hauglie-Hanssen, E.
Fastigioreticular fibers in the cat. An experimental study with silver methods, J. comp. Neurol. 119 (1962) 187-199.

Watanabe, J., Sugiura, M., Sato, K., Sato, Y., Maeda, Y., Matsue, Y., Fukuda, H., and Kawashima, R.
The human prefrontal and parietal association cortices are involved in no-go performances: an event-related fMRI study, NeuroImage 17 (2002) 1207-1216.

Watanabe, M.
Prefrontal unit activity during delayed conditional go/no-go discrimination in the monkey. I. Relation to the stimulus, Brain Res. 382 (1986) 1-14.

Watanabe, M.
Prefrontal unit activity during delayed conditional go/no-go discrimination in the monkey. II. Relation to go and no-go responses, Brain Res. 382 (1986) 15-27.

Watanabe, M.
The appropriateness of behavioral responces coded in post-trial activity of primate prefrontal units, Neurosci. Lett. 101 (1989) 113-117.

Watanabe, M.
Reward expectancy in primate prefrontal neurons, Nature 382 (1996) 629-632.

Watanabe, M.
Cognitive and motivational operations in primate prefrontal neurons, Reviews in Neurosci. 9 (1998) 225-241.

Watanabe, M.
Integration across multiple cognitive and motivational domains in monkey prefrontal cortex, pp.326-337, In: Principles of Frpntal Lobe Function, Eds.Struss,D.T.,and Knight,R.T., Ocford Univ. Press, 2002.

渡辺正孝
前頭前野における報酬情報処理、神経進歩 49 (2005) 527-537.

渡辺剛
睡眠覚醒リズム障害の高照度光療法、神経進歩 45 (2001) 817-825.

Wauchope, O.S.
Deviation into Sense ; The Nature of Explanation, Faber & Faber, London, 1948, ものの考え方 （深瀬基寛訳）1951 弘文堂

Weeks, R.A., Aziz-Sultan, A., Bushara, K.O., Tian,B., Wessinger, C.M., Dang, N., Rauschecker, J.P., and Hallett, M.
A PET study fo human auditory special processing, Neurosci. Lett. 262 (1999) 155-158.

Weeks, R., Horwitz, B., Aziz-Sultan, A., Tain, B., Wessinger, M., Cohen, L.G., Hallett, M., and Rauschecker, J.P.
A positron emission tomographic study of auditory localization in the congenitally blind, J. Neurosci. 20 (2000) 2664-2672.

Wells, H.K.

Pavlov and Freud : I (I. P. Pavlov : Toward a scientific psychology and psychiatry, 1956) and II(S. Freud : A Pavlovian critique, 1960)、パブロフとフロイド、中田実、堀内敏訳、1966、黎明書房

Wiesel, T.N., and Hubel, D.H.
Extent of recovery from the effects of visual deprivation in kittens. J Neurophysiol. 28 (1965) 1060-1072.

Williams, G.V., and Goldmam-Rakic, P.S.
Modulation of memory fields by dopamine D1 receptors in prefrontal cortex, Nature 376 (1995) 572-575.

Wilson, F.A.W., O'Scalaidhe, S.P., and Goldman-Rakic, P.S.
Dissociation of object and special processing domains in primate prefrontal cortex, Science 260 (1993) 1955-1958.

Wirtshafter, D., Stratford, T.R., and Shim, I.
Placement in a novel environment induces fos-like immunoreactivity in supramammillary cells projecting to the hippocampus and midbrain, Brain Res. 789 (1998) 331-334.

Wise, S.P., Boussaoud, D., Johnson, P.B., and Caminiti, R.
Premotor and parietal cortex: Corticocortical connectivity and combinatorial computations. Annu. Rev. Neurosci. 20 (1997) 25-42.

Yakovlev, P.I.
Motility, behavior and the brain. Stereodynamic organization and neural co-ordinates of behavior, J. Nerv. Ment. Disease 107 (1948) 313-335.

Yamada, M., Miyakawa, T., duttaroy, A., Yamanaka, A., Moriguchi, T., Makita, R., Ogawa, M., Chou, C.J., Xia, B., Crawley, J.N., Felder, C.C., Deng, C.-X., and Wess, J.
Mice lacking the M3 muscarinic acetylcholine receptor are hypophagic and lean, Nature 410 (2001) 207-212.

Yamaguchi, Y.
Frontal theta activity. In: N. Yamaguchi and K. Fujisawa (eds.), Recent Advances in EEG and EMG Data Processing, Elsevier, Amsterdam, 1981, pp.391-396.

Yamaguchi, Y.
A theory of hippocampal memory based on theta phase preccesion, Biol. Cybern. 89 (2003) 1-9.

山口陽子
海馬におけるシータリズム位相コードと記憶、生体の科学 55 (2004) 33-42.

Yamaguchi, Y., Aota, Y., McNaughton, B.L., and Lipa, P.
Modality of theta phase precession in hippocampal place cells in freely running rats, J. Neurophysiol. 87 (2002) 2629-2642.

Yamasue, H., Kasai, K., Iwanami, A., Ohtani, T., Yamadea, H., Abe, O., Kuromi, N., Fukuda, R., Tochigi,M., Furukawa, S., Sadamatsu, M., Sasaki, T., Aoki, S., Ohtomo, K., Asukai, N., and Kato, N.
Voxel-based analysis of MRI reveals anterior cingulated gray-matter volume reduction in posttraumatic stress disorder due to terrorism, PNAS 100 (2003)9039-9043.

安永浩
精神の幾何学、1987、岩波書店 .

安永浩
分裂病症状機構に関する一仮説－ファントム論について、In：分裂病の精神病理１、土居健郎編、1972、東京大学出版会 .

安永浩
分裂病症状機構に関する一仮説（その二）－「置き去り」効果について－ In：分裂病の精神病理２、宮本忠雄編、1974、東京大学出版会

安永浩
分裂病型妄想の理論的問題、精神医学 21 (1979) 127-137.

Yeung, N., Cohen, J.D., and Botvinick, M.M.
The neural basis of error detection: conflict monitoring and the error-related negativity, Psychol. Rev. 111 (2004) 931-959.

Young, K.A., Manaye, K.F., Liang C., Hicks, P.B., and German, D.C.
Reduced number of mediodorsal and anterior thalamic neurons in schizophrenia, Biol. Psychiat. 47 (2000) 944-953.

Young, M.W., Jackson, F.R., Shin, H.-S., and Bargiello, T.A.
A biological clock in Drosophila, Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol. 50 (1985) 869-875.

湯浅茂樹、八木健
情動に関わる遺伝子とそのノックアウトマウス、脳の科学 20 (1998) 741-743.

Yukie, M., Zhong, Y.-M., Konagaya, H., Rockland, K.
Cortical terminations of hippocampal projections, 日本神経科学大会抄録集、P3-289.

Zatorre, R.J., Bouffard, M., Ahad, P., and Belin, P.
Where is 'where' in the human auditory cortex ? Nature Neurosci. 5 (2002) 905-909.

Zatorre, R.J., Evans, A.C., and Meyer, E.
Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch, J. Neurosci. 14 (1994) 1908-1919.

Zeki, S.M.

Functional organization of a visual area in the posterior bank of the superiior temporal sulcus of the rhesus monkey, J. Physiol. 236 (1974) 549-573.

Zeki, S.

The representation of colour in the cerebral cortex, Nature 284 (1980) 412-418.

Zeki, S.M.

Colour coding in the cerebral cortex: the reaction of cells in monkey visul cortex to wavelengths and colours, Neurosci. 9 (1983) 741-765.

Zeki, S.M.

Inner Vision : An Exploration of Art and the Brain. 1999, 脳は美をいかに感じるか（2002, 河内十郎訳）日本経済新聞社

Zola-Morgan, S., and Squire, L.R.

Memory impairment in monkeys following lesions of the hippocamus, Behav. Neurosci. 100 (1986) 155-160.

Below is a cursory description as compiled under the three headings of 1) Recognition and emotion, 2) Audition and vision at the cortical level, and 3) Brain science and psychiatry, which are the main topics the present author focused in this book of Japanese version. Strictly speaking, this is not the résumé of the text-book, but a free-writing piece as if flowers in a wide garden of the "Brain and Mind" were picked up by a frivolous author.

"RESUME" (Résumé)

1) Recognition and emotion (cf. chapters 1-4 and 8 in the text)

Humans understand language, art and music, because the development of the brain has reached a level to recognize symbolic signals to communicate in the society.
Areas 39 and 40 (of Brodmann) in the human parietal lobe are involved in the high order recognition, disturbance of which causes sensory aphasia, apraxia and agnosia.

Functions of the frontal lobe are the active expression of bodily and mental movements as well as planning and performing a series of actions. Cognitive information reaches the prefrontal cortex from the parietal and temporal lobes. There are no direct projections from the posterior association area to the primary motor cortex.

Recognition and emotion are closely related to each other in the expression of "logos" and "pathos". Sensory information reached the cerebral cortex is transmitted from the posterior association area to the anterior association cortex, or the prefrontal cortex, in which information of the stimuli can be converted and be bestowed the connotational significance reflecting the situations occurring in the external world before being sent to the higher cortical motor system.

1) Распознавание и эмоции (краткое описание глав 1-4 и 8)

Способность людей понимать язык, музыку и искусство обусловлена таким уровнем развития мозга, который позволяет распознавать символические сигналы в сфере коммуникаций. Сегодня мы располагаем фрагментарными знаниями о механизмах этого распознавания.
Так, известно, что зоны 39 и 40 (по Бродману) теменной коры отвечают у человека за целый ряд высших психических функций, связанных с процессом распознавания. При их повреждении возникают такие когнитивные расстройства, как афазия, апраксия и агнозия.

Лобные доли коры, в свою очередь, ответственны за планирование и реализацию сложных действий, движений, а также за процессы мышления. Когнитивная информация поступает в префронтальную (переднюю лобную) кору из теменных и височных долей. При этом важно подчеркнуть, что прямые проекции из задней ассоциативной области в первичную моторную кору отсутствуют.

Тесная взаимосвязь распознавания образа и его эмоциональной оценки нашла своё отражение в понятиях «разум» (logos) и «чувства» (pathos). Сенсорная информация, поступившая в головной мозг, передаётся из первичной ассоциативной области в заднюю ассоциативную или префронтальную кору, где обогащается эмоциональной оценкой значимости ситуации, преобразуется, и лишь затем направляется в высшее корковое представительство моторной системы.

The amygdala participates in the evaluation of biological values of pleasant or unpleasant feelings in the consolidation of memory by means of emotional conditioning. Furthermore, it is well known that there are Yakovlev's and Papez's circuits which are concerned with emotion and memory, respectively, involving the amygdala, temporal and frontal lobes, cingulate gyrus and hippocampus. In the cingulate gyrus, the amount of regional cerebral blood flow (rCBF) increases in the volitional action of monkeys in the experiment where they found a new maneuver in order to obtain rewards are involved in the autonomic nervous system, the highest center of which is the hypothalamus. Autonomic nervous activities comprise breathing, circulation, perspiration, digestion, appetite and sexual desires. These have close correlation with emotion, activated by the limbic system. Hormonal regulation system covering the hypothalamus, hypophysis and endocrine organs is under the influence of the hippocampus and amygdala. Impulses of smell and taste are known to pass into the cortical and medial nuclei (phylogenetcally old parts) of the amygdala (Norita & Kawamura, 1980), which are also associated with emotion.

Амигдала обеспечивает аффективную оценку биологической значимости сигналов («приятные» или «неприятные», позитивные или аверсивные) и, интегрирую свежую сенсорную информацию с хранящейся в памяти, формирует определённое эмоциональное состояние. Это закономерно, ведь нейронные циклы Яковлева и Пейпеза, отвечающие, соответственно, за механизмы эмоций и памяти, включают, прежде всего, амигдалу, височную и лобную доли коры, поясную (цингулярную) извилину и гиппокамп. Эти циклы, получившие в литературе название лимбической системы (МакЛин), тесно взаимодействуют с автономной нервной системой, высшим центром которой является гипоталамус. В результате обеспечивается взаимодействие нейронных сетей, формирующих эмоциональный и вегетативный компоненты восприятия. Например, показано, что у обезьян в экспериментах с произвольным поведением повышается региональный кровоток в поясной извилине в том случае, если они находят новое решение для получения подкрепления. Автономная нервная система обеспечивает регуляцию дыхания, пищеварения, кровообращения, потоотделения, сексуальных желаний, аппетита и других витальных функций. Очевидна её связь с эмоциональной сферой, формируемой лимбической системой. Однако гиппокамп и амигдала влияют также и на систему гормональной регуляции, включающую гипоталамус, гипофиз и эндокринные железы третьего порядка. Базальные ганглии (филогенетически старые части), в которые из амигдалы плступают сигналы, обеспечивающие обоняние и вкус (Норита и Кавамура, 1980), также тесно связаны с эмоциональной сферой.

Таким образом, мы можем достаточно уверенно очертить те мозговые структуры, которые обеспечивают формирование восприятия со всеми четырьмя базовыми компонентами: когнитивным, эмоциональным, моторным и вегетативным. По-существу, все они имеют циклическую структуру, причём эти циклы взаимно переплетаются, образуя общие зоны сопряжения.

2) Audition and vision at the cortical level (cf. chapters 5-7 and 9 in the text)

As the monkey visual cortex is subdivided into V1, V2, V3, V4, TEO, TE, MT and MST, the auditory cortex is classified as the core (further subdivided to AI, R and RT), the belt (CL, ML and AL) and the parabelt (STGc, CPB, RPB STGr) regions. Recent researches have shown that there are various functional areas distributed in the visual system, such as cognition of shapes, colors or movement of objects. In the auditory system, it is also possible to consider the system as composed of such functional subdivisions as pure tones or harmony, high or low tones, forte or piano, as well as pitch and melody.

The brain science has clarified the mechanism of recognition to a certain extent in the visual and auditory systems, particularly in the former. Just as in vision where discontinuous elements of figures perceived in the cortex become united according to the degree of spatial proximity, thus building up the outline of the phrasing, also in hearing sounds, which are closely related to each other in the course of time or tonal rhythm. A musical piece is produced by constructing a pattern with continuous reliance of complex notes. In the auditory cortex, neurons of similar characters are likely to be found in groups. Based on the morphological basis, continuity (melody, tempo) and synthesis (chord, consonance) can be formed from discontinuous elements of sounds as a consequence of activities of correlated neurons that compose neural networks.

Auditory impulses are transmitted to the first auditory area (AI), and further to the auditory association area, in part reaching Wernicke's area. The area that participates in music is closely related to the cortical language area. Brain functions in responding to music may differ according to the development of the brain, including emotional activities displayed in the limbic system that contains the cingulate cortex, hippocampus, orbital cortex, amygdala and nucleus accumbens.

2) Корковое представительство зрения и слуха (краткое описание глав 5-7 и 9).

У обезьян зрительная (затылочная) кора подразделяется на несколько зон: V1, V2, V3, V4, TEO, TE, MT и MST. В свою очередь, слуховая (височная) кора делится на центральную область (включающую зону A1, R-ростролатеральную и RT-ростротемпоральную зоны) и опоясывающие её области A2: так называемый белт (зоны CL, ML и AL) и парабелт (зоны STGs, CPB, RPB и STGr). Недавние исследования показали существование в зрительной коре различных функциональных областей, ответственных за распознавание формы, цвета или движения объектов. В слуховой системе также можно выделить функциональные области, отвечающие за распознавание чистых тонов или гармоник, высоких или низких звуков, громких или тихих, а также речи и мелодии.

Механизмы распознавания в зрительной и слуховой системах изучены сегодня нейробиологами только в общих чертах. Известно, например, что как в зрительной системе отдельные элементы фигур на корковом уровне объединяются в зрительную сцену по степени их пространственной близости, так и в слуховой системе объединяются звуки, связанные друг с другом временем или ритмом. Нейронный паттерн формируется при прослушивании музыкального фрагмента на основе целостного комплекса звучащих нот. Характерно, что в слуховой коре нейроны со сходными свойствами объединены в группы (модули). Образ последовательности звуков (мелодия, темп) или результата их синтеза (аккорд, гармония) может быть сформирован из отдельных «элементарных» звуков благодаря взаимодействию активированных нейронов, которые составляют нейронные сети, объединённые на морфологической основе.

В слуховой системе импульсы оиз таламуса сначала поступают в первичную слуховую область, а уже затем – в ассоциативную слуховую область, захватывая и зону Вернике. Существенно, что важнейшая для восприятия музыки зона одновременно является и речевой зоной слуховой коры. В процессе развития мозга его реакции на музыку могут изменяться, начинает проявляться эмоциональная активность, нейронные корреляты которой регистрируются в лимбической системе, включающей поясную кору, гиппокамп, орбитальную кору, амигдалу и прилежащее ядро.

Music is not composed simply of a disordered series of sounds. In music, sounds are integrated and systematized, creating melodies, tempo, tonality and rhythm. The core portion of the auditory cortex receives simple sounds corresponding to the frequency. Impulses are then transmitted from the core to the belt, and further to the parabelt regions. Discriminative quality of the auditory cognition becomes higher as impulses proceed. In the visual system, perception of dots and lines develops to recognize things in nature and animals' faces, as well as colors and movement of objects.

The visual and auditory systems overlap or adjoin in various areas of the midbrain and hindbrain. For example, teleceptive responses have been obtained in the mid-vermal part of the cerebellum after electric stimulation in the cerebral visual and auditory areas of cats and monkeys. We showed that axons of Purkinje cells in the mid-vermal part of the cerebellum terminate in the caudal part of the fastigial nucleus, and they further travel to the tectum. Thus, visuomotor and audiomotor signals are transmitted to the tectal region. It is therefore possible that the two sensory systems act in cooperation at brainstem levels.

In the cerebral cortex also, visual and auditory impulses are known to converge upon the cortical areas surrounding the middle suprasylvian sulcus (MSS) in the cat and the superior temporal sulcus (STS) in the monkey. In these cortical areas neurons were reactive to multiple sensations. Furthermore, the monkey prefrontal cortex receives topographically organized, broad projections from the posterior association area including the STS region. Neurons in areas surrounding the posterior part of the principal sulcus respond to spatiovisual attentive signals, which are surrounded by areas responsive to the auditory attention signals.

Visual stimuli advance from area 37 →TEO→TE. TG field belongs to the auditory association area, and also connected with the amygdala, likely therefore to be relevant to the emotional expression. TG and TE, both belonging to the temporal association area, are strongly connected with the orbitofrontal cortex (OF) by means of reciprocal association fibers called the uncinate fasciculus. These regions (TG, TE, OF) have again reciprocal connections with the amygdaloid

Музыка не является беспорядочным набором звуков. В музыке звуки объединены и систематизированы для создания мелодии, темпа, тональности и ритма. Центральная зона слуховой коры выделяет из сложного звукового сигнала простые звуки соответствующих частот (тональностей). Импульсы передаются от A1 к A2, достигая парабелта. При передаче импульсов на каждом следующем шаге повышается качество слухового распознавания. Аналогично, в зрительной системе развито восприятие точек и линий (контуров) для распознавания природных объектов, лиц, животных, а также цветов и движений объектов.

В некоторых областях среднего и переднего мозга пути зрительной и слуховой систем пересекаются. Так, например, было показано, что при электрической стимуляции и зрительных, и слуховых областей мозга регистрируются ответы в медиальной части червя мозжечка. Мы (Кавамура) установили, что аксоны клеток Пуркинье в средней части червя мозжечка заканчиваются в каудальной части ядер шатра, а оттуда информация направляется в тектум. Таким образом, и зрительно-моторные, и слухо-моторные сигналы передаются в тектум. Это указывает на очевидную возможность взаимодействия зрительной и слуховой систем на уровне ствола мозга.

Известно, что в коре больших полушарий зрительные и слуховые потоки импульсов сходятся в областях, окружающих среднюю супрасильвиеву борозду (MSS) у кошек и верхнюю височную борозду (STS) у обезьян. Нейроны этих областей являются мультимодальными. Кроме того, префронтальная кора обезьян получает хорошо топографически организованные мощные проекции от западней ассоциативной области, включая верхнюю височную борозду. Нейроны в зонах, окружающих заднюю часть основной борозды, отвечают на зрительные сигналы и, в свою очередь, окружены областями, отвечающими на слуховые сигналы.

В зрительной системе импульсы распространяются из зоны 37 (по Бродману) в TEO и TE. Поле TG принадлежит слуховой ассоциативной области, которая также связана с амигдалой, отвечающей за эмоции. Кроме того, поля TG и TE принадлежат к височной ассоциативной области, которая тесно связана с лобно-орбитальной корой (OF) реципрокными ассоциативными волокнами, которые называются крючковидным пучком. Эти же

nuclei. RECOGNITION can form the inputs for emotional behavior.

области имеют реципрокные связи с амигдалой. Таким образом, в процессе распознавания с очевидностью может происходить и формирование эмоционального поведения.

As has been demonstrated for the visual system, the auditory system also has the dorsal and ventral pathways, in broader sense, from the posterior association area to the prefrontal cortex. As for the visual system, impulses from area 17 divide into two routes; the dorsal one to the parietal lobe (areas 5 and 7), and the ventral one to the temporal lobe (TEO, TE, and to TG). It is advocated that the dorsal route concerns the visual space cognition, and the ventral route the object recognition, such as circles, triangles and facial expressions which has closely related to the emotional function.

Аналогично зрительной системе, слуховая система также имеет дорзальные и вентральные (в расширительном понимании) пути от задней ассоциативной области к префронтальной коре. Что качается зрительной системы, известно, что импульсация их зоны 17 распределяется по двум путям: дорзальному – в теменную кору (Зоны 5 и 7), и вентральному – к височной доле (TEO, TE и TG). Сегодня доказано, что дорзальный путь связан с формированием субъективного зрительного пространства, а вентральный – с распознаванием объектов (например, геометрических фигут наподобие кругов, треугольников и т.д.) или выражений лица, что имеет самое непосредственное отношение к эмоциональной сфере.

In the “dorsal pathway”, neurons in the parietal and frontal areas respond with similar characteristics. Therefore, spatial information can be used for the programming of action. Conversion of spatial images from the visuo-auditory map to the movement map may be encoded by using this route. The “ventral pathway” includes the uncinate fasciculus that conveys visuo-auditory information to the prefrontal cortex (area 10) from the temporal lobe.

В «дорзальном пути» нейроны теменных и лобных долей имеют сходные характеристики. Поэтому пространственная информация может использоваться для формирования программ действий. На этом пути может происходить преобразование пространственных образов из зрительно-слуховой формы кодирования в двигательное кодирование. «Вентралный путь» образован волдокнами крючковидного пучка, которые передают зрительно-слуховую информацию из височной доли в префронтальную кору (зона 10).

Thus, it is known that the visual information proceeds to the prefrontal cortex via the parietal and temporal lobes. In the parietal lobe, it is concerned with the information of the optic and acoustic positioning in the space; “where”. In the temporal lobe, on the other hand, it is concerned with “what” of the visual and auditory objects. In the visual system, complicated forms are recognized as a combination of simple forms (point, lines, triangles etc.) in addition to colors and movements with emotional reactions. Similarly in the auditory system, compound sounds can be recognized as a union of pure (simple) sounds that further develops into melody, harmony and discordant/dissonant. Rhythm and pitch of sounds are also concerned with the brainstem and cerebellum.

Таким образом, ясно, что зрительная и слуховая информация передаётся в префронтальную кору через теменные и височные зоны. Через теменную зону идёт информация о положении источника зрительного и слухового сигнала, то есть формируется ответ на вопрос «где?». В височной зоне, с другой стороны, форомируется ответ на вопрос «что?», то есть качественная размерность для зрительных и слуховых объектов. В зрительной системе сложные формы распознаются как комбинация простых форм (точки, линии, треугольники и т.д.) в дополнение к цветовым характеристикам, движениям и эмоциональным реакциям. Так же и в слуховой системе сложные звуки распознаются как объединение чистых (простых) звуков, которое развивается в мелодию, гармонию и диссонанс. Ритм и сила подачи звуков связаны при этом со стволовыми отделами мозга и мозжечком.

A theory of working memory has been proposed as a cognitive function related to the frontal lobe. Working memory in the musical performance is worthy of attention. It is the system which enables the information from the posterior association area to be maintained and carried out in parallel ways. In the beginning, keyboard players use fingers intentionally one by one as they look at musical notes, and after the training (learning mechanism by the cerebellum), their fingers move in patterns. How does the brain work when the player produces melodious tones in the musical performance? While playing music, information is constantly accessed from the storehouse of the memory. This is maintained in the brain for a short time and converted into active movement. Simultaneously, harmonious series of tones are looked for from the pool of the long-term memory in a parallel fashion.

Концепция рабочей памяти постулирует, что эта когнитивная функция связана с лобными долями. Рабочая память принимает участие и в восприятии музыки. Эта система позволяет обрабатывать и рассылать по параллельным путям информацию от задней ассоциативной области. В начале разучивания музыканты умышленно используют пальцы один за другим (последовательно), поскольку они смотрят в ноты, а после тренировки (обучения с вовлечением мозжечка), движения пальцев образуют целостные координации. Как работает мозг , когда музыкант создает мелодии? При исполнении музыки существует постоянное поступление информации из памяти. Эта информация поддерживается в мозгу в течение короткого времени и преобразовывается в активное движение. Одновременно, из долговременной памяти извлекается сразу целый гармонический набор музыкальных тонов.

Sensory information integrated and modified in the frontal cortex can be used in active behaviors, ranging from muscle movements to mental activities. A flow chart formulates as: sensory area → posterior association area → prefrontal cortex → high-order motor area → area 4.

Сенсорная информация, объединенная и измененная во фронтальной коре, может использоваться в активном поведении, в рамках преобразования от мышечных движений до работы сознания. Схематично это можно представить так: сенсорные области – задние ассоциативный области – префронтальная кора – высшие моторные зоны – зона 4.

Marked progress is made in the primate frontal lobe, given impetus from environment in the working and playing community. The cingulate motor cortex on the medial surface of the hemisphere has been shown recently in monkeys to be related to willingness or "volition".

Описанный процесс происходит в передней лобной коре, обеспечивающей единство обработки и воспроизведения информации при реакции на внешней сигнал. Недавно на обезьянах было показано, что медиальная поверхность цингулярной моторной коры связана с мотивационной готовностью или "волей".

The circuitry system composed of the basal ganglia – thalamus – cerebral cortex implies significant meaning in the brain function. The circuitry of this organization is closed and can be arranged to form three parallel channels morphologically and functionally; 1) the motor, 2) association and 3) limbic systems.

Система, состоящая из базальных ганглиев – таламуса – коры больших полушарий, имеет важнейшее значение в работе мозга. Эта замкнутая система формирует три параллельных морфофункциональных канала: 1) моторную, 2) ассоциативную и 3) лимбическую системы.

.

The prefrontal cortex that contains Broca's area and the posterior association area that contains Wernicke's area are interconnected with association fibers. The ventral parts of the frontal lobe and the temporal pole are also interconnected, both of which have reciprocal connections with the amygdala. Thus, integration of recognition (logos) and emotion (pathos) occurs in the prefrontal cortex, before being transmitted to

Префронтальная кора, которая содержит зону Брока, и задняя ассоциативная область, которая содержит зону Вернике, связаны друг с другом ассоциативными волокнами. Вентральная часть лобной и теменной долей также взаимосвязаны, при этом обе части имеют реципрокные контакты с амигдалой. Таким образом, интеграция распознавания («logos») и эмоции («pathos»)

the motor system in the cortex (supplementary motor area→ premotor area → primary motor area). The cognition system is inter-related with the emotional system. Emotional expression is maintained by inputs mostly from the amygdala and the nucleus accumbens, and the volitional expression chiefly from the cingulate gyrus. It must be remembered that feelings of balance are important in the expression of musical performance supported by the “parallel” functions of the entire brain including the cerebral cortex, striatum, thalamus, cerebellum and brainstem.

происходит в префронтальной коре прежде, чем информация может быть передана к моторной системе коры (дополнительные моторные области – премоторная зона – первичная моторная кора). Когнитивная система и эмоциональная система являются взаимозависимыми. Эмоции обеспечиваются, главным образом, входами от миндалины и прилежащего ядра, а осознание, в основном, от поясной извилины. Важно помнить, что чувство баланса, важнейшее для музыкального искусства, поддерживается "параллельными" процессами во всем мозгу, включая кору больших полушарий, полосатое тело, таламус, мозжечок и ствол мозга.

The morphological basis of the “backward propagation” from the prefrontal cortex to the posterior association areas is important in considering the relationship of musical performance and memory association. A large number of association fibers from the prefrontal cortex end in the temporal pole, where reciprocal connections are present with the amygdala and hippocampus, and further from there to the posterior STS region upon which polysensory inputs converge and which could be considered as a primitive or premature region for the sensory linguistic area as viewed from an evolutionary stand-point.

Морфологическая основа "петли обратной связи" (“backwardpropagation”) от префронтальной коры до задней ассоциативной области важна при рассмотрении связи междумузыкальными преобразованиями и ассоциациативной памяью. Большое количество ассоциативных волокон, идущих от префронтальной коры, заканчивается в височной доле, где присутствуют реципрокные связи с амигдалой и гиппокампом, и далее от неё направляются в область задней верхневисочной борозды, на который конвергируютполимодальные сенсорные входы и которую, с эволюционной точки зрения, можно было бы рассматривать как зону предобработки информации для сенсорной лингвистической области

3) Brain science and psychiatry (cf. chapters 10-12 in the text)

The whole product of brain activities can be taken as “mind” of animals. Animals communicate with others by using gestures and voices, and humans are able to transfer the products of “mind” to the next generation in the forms of creating arts, music and literature. Accumulation of the inheritance is embodied as culture and civilization in the human society, where normal as well as abnormal characters are struggling to survive. It is important, therefore, for psychiatrists to study pathological aspects of mind, particularly on the basis of biological sciences. It is one of our aims to combine the recent results of the brain science with those of the human science.

Maturation in man, both in bodily and mentally, is established in the course of development, in particular during adolescence, and formation of human features is closely related to the cerebral maturity which includes the formation of “thought”, “emotion“ and “volition” and self-consciousness, being the total results of brain activities. In the working society, through communication with others, human uses words as sophisticated signals, connecting verbs with nouns, uses verbal tenses, and distinguishes active and passive tenses. Man also expresses and controls feelings of love, angry, sorrow and joy in the community.

Schizophrenia usually starts in adolescence. Communication with other people sometimes becomes inflexible and autistic. Disturbance of cognition and the loosening of thinking ways are very often recognizable from others, and sometimes hallucination occurs. Schizophrenia literally means the “split mind” (schizos=separate; phrenia=spirit or mind). It differs from “split brain” or damage in the brain used in neurology where pathologic signs or symptoms appear consistently.

Remarkable development of the cerebral cortex in man as compared with that in apes can be summarized as the presence of: a) linguistic areas highly developed in both the posterior and anterior association areas, b) very large frontal lobe,

3) Наука о мозге и психиатрия (краткое описание глав 10-12)

Целостный результат активности мозга можно рассматривать как «разум» животных. Животные общаются друг с другом с помощью жестов и речи, а люди имеют возможность передать продукты своего "разума" следующим поколениям в форме произведений искусства, музыки и литературы. Накопленный опыт воплощается в культуре и цивилизация человеческого общества, в которой изо всех сил пытаются выжить как нормальные, так и неправильные характеры. Пэотому важно, особенно для психиатров, на основе биологических наук изучать патологические аспекты разума. Одна из целей нашей работы состоит в объединении последних достижений науки о мозге с другими гуманитарными науками.

Установлено, что в ходе возрастного развития происходит физическое и психическое созревание человека. Особые изменения наблюдаются в юности. Формирование личностных особенностей человека, таких как «мышление», «эмоции», «воля» и «самосознание», тесно связано с созреванием мозга и является результатом его активности. В трудовой деятельности для коммуникации с другими людьми человек использует слова как сложные сигналы, соединяет глаголы с существительными, использует разные времена глаголов, различает активные и пассивные временные формы. Также в общении человек выражает и контролирует свои чувства: любовь, ненависть, горе и радость.

Шизофрения обычно проявляется в юности. В общении с другими людьми появляется упрямство и аутизм. Развиваются когнитивные нарушения, ослабляется мышление, а иногда возникают галлюцинации. Шизофрения буквально означает "раздвоение личности" (schizos=раздвоение; phrenia=душа или разум). Это отличается от "расщепленного мозга" или неврологических нарушений, при которых патологические признаки или симптомы появляются последовательно.

Можно выделить следующие основные особенности развития коры головного мозга человека, в отличие от человекообразных обезьян: а) лингвистические области сильно развиты как в задней, так и в передней

especially the prefrontal cortex, and c) a large number of cortico-cortical fibers, connecting bi-directionally between the anterior and posterior association areas.

It is said in human that the left cerebral hemisphere is predominant in the right hemisphere in the comprehension and expression of the language, whereas the right hemisphere is predominant in the left hemisphere in the comprehensive recognition of compound forms and fragmentized figures to build up the conscious-integration of Gestalt, or in the function of transforming special information into groups in images by manipulation or using hands. However, the information in both hemispheres is constantly communicated through commissural fibers; therefore the functional predominance of the hemisphere is always relative, not absolute. With this concept in mind, it is said in general that the right hemisphere is concerned with images of signs transmitted by means of emotional experience, thus suited for solving problems using imagination, while the left hemisphere is related with understanding languages, searching for rules to connect different kinds of signs.

ассоциативной области , b) очень большая лобная доля, и, особенно, передняя лобная кора, и c) большое количество кортико-кортикальных волокон, обеспечивающих двусторонее взаимодействие между передними и задними ассоциативными зонами.

Считается, что у человека левое полушарие доминирует в обработке лингвистической информации, в понимании и формировании слов, тогда как правое полушарие является ведущим в распознавании сложных форм и фигур, в сознательном синтезе отдельных фрагметов в единый образ, а также в формировании моторного образа для управления руками. Однако оба полушария постоянно обмениваются информацией через комиссуры, поэтому функциональное доминирование полушария всегда относительно, а не абсолютно. В этой концепции утверждается, что правое полушарие связано с представлением сигнала, переданного посредством эмоционального опыта, что соответствует решению проблемы с использованием воображения , тогда как левое полушарие связано с пониманием языка и поиском правил для соединения различных признаков сигнала в целостный образ.

The discrepancy between the anterior (or frontal) and the posterior (= parietal, temporal and occipital) association areas may be discussed. The rCBF study of chronic schizophrenic patients disclosed that the flow was decreased in their prefrontal cortex and it was increased in the parieto-temporal association areas. Therefore, it can be suggested that in schizophrenic patients the function of the prefrontal cortex is relatively low, while that of the posterior association is conversely high.

Можно обсуждать разницу между передними и задними (=теменной, височной и затылочной) ассоциативными областями. ПЭТ исследование пациентов с хронической шизофренией показало, что кровоток в передней лобной коре был уменьшен, а в теменно-височной ассоциативной области - увеличен. Поэтому можно предполагать, что у больных шизофренией относительно слабо развиты функции профронтальной коры, тогда как функции задних ассоциативных областей, наоборот, развиты сильно.

Symptoms of the split-mind in the mental disease, especially schizophrenia can be considered below, albeit highly hypothetical.

Firstly, regulatory disturbances of the cortical functions in the cerebrum upon subcortical structures may cause impulsive, disordered, and reflective patterns or manners of emotional expression.

Secondly, the disturbance of bilateral hemispheric communication may cause deterioration or even loss of normal thinking-flows, thus resulting in the mal-formation of cognitive conceptualization which may lead to the abnormal cognition; hallucination and delusion. Disturbances of establishment of self consciousness occur, as a result of MIS-positioning of

Попытаемся рассмотреть, хотя бы очень гипотетически, признаки и механизмы раздвоения личности при психических заболеваниях, особенно шизофрении..

Во-первых, нарушение корковых и подкорковых функций приводит к импульсивному, беспорядочному и рефлексивному проявлению эмоций.

Во-вторых, нарушение межполушарного взаимодействия может вызвать ухудшение или даже потерю способности мыслить, в результате искажается когнитивная концептуализация, что может привести к отклонениям в ощущениях, восприятии, абстрактном мышлении, галлюцинациям и иллюзиям. Нарушения в осознании себя происходят в результате неправильного позиционирования

self in the surrounding space as well as influential suffering experience by others.

Thirdly, the antero-posterior separation of the association cortices is likely to cause decrease of activities, volitions and feelings, manifesting sometimes symptoms of autism or depersonalization. It should be stressed here that the deficits are in many cases functional and temporal, and that the symptoms are not irreversible to be involved in the incurable organic deficits. The disease CAN BE curable by medical treatment.

себя относительно окружающего пространства, а так же под влиянием опыта страданий других людей.

В-третьих, нарушение связей между передгими и задними ассоциативными зонами способствует уменьшению активности, ослаблению воли и чувств, иногда провоцируя симптомы аутизма или деперсонализации. Здесь важно подчеркнуть, что эти нарушения, во многих случаях лишь функциональные и временные, тем не менее необратимы, поскольку связаны с нарушениями в структуре мозга. Болезнь МОЖЕТ БЫТЬ вылечена медицинскими средствами.

Generating the model of animals which represents schizophrenia-like symptoms has been carried out, by injecting amphetamine or methamphetamine into rats. The rats that received the drug repeatedly became intoxicated, and displayed some stereotyped behaviors such as biting, licking, and glooming; so called amphetamine stereotypia, while other types of behaviors were suppressed. Furthermore, they became afterwards inclined to display similar symptoms, when they took the drugs repeatedly even a small amount. Likewise, when monkeys received methamphetamine for a long period, they exhibited abnormal types of social behavior resembling the symptom of autism together with particular manners of peeping and body-scratch.

Экспериментальная модель шизофрении, обеспечивающая воспроизведение характерных симптомов, была получена при введении крысам амфетамина и метамфетамина. У крыс, которые получали препарат неоднократно, проявлялись признаки опьянения и некоторые стереотипные формы поведения: они кусались, облизывались, злились - так называемая амфетаминовая стереотипия, - в то время, как другие формы поведения были подавлены. Кроме того, впоследствии у них появлялась склонность к подобным симптомам при повторном введении даже очень малых доз препарата. Аналогично, когда обезьяны получали метамфетамин в течение длительного периода, они проявляли патологические формы поведения, напоминающие симптомы аутизма, вместе со специфическими особенностями, такими как черезмерное любопытства и расцарапывание тела.

From the baby/childhood to the puberty/adult, neuronal processes develop and glial cells mature and myelinate in the brain. Various types of neuronal circuitries in the brain are activated and strengthened by means of interactions with environment through communication and co-working in the society. Thus, in the process of constant activation of neural networks in the cerebral cortex, based on the mechanical basis of the conditioned reflex, particularly with the help of the second signal system, people can be educated intellectually and emotionally.

В онтогензе, от младенчества до пубертатного периода, происходит развитие нервных структур, рост глиальной ткани и миелинизация нервных волокон. Различные типы нейронных циклов активируются и закрепляются при взаимодействии с окружающей средой через коммуникации и сотрудничество в обществе. Таким образо, формирование интелелкта и эмоций у людей происходит при автоматической реализации условных рефлексов (в частности, с помощью второй сигнальной системы) в процессе постоянной активации нейронных сетей в коре головного мозга.

Time conception of cognitive consciousness was hypothesized as having a quantal unit with 25-50 msec duration ("moment consciousness", Utena). Auditory hallucination could take place during the "moment consciousness". Also, the sensory gating deficit and excessive degree of the backward

В рамках концепции когнитивного времени была выдвинута гипотеза о наличии кванта осознания продолжительностью 25-50 мс ("мгновенное сознание", Utena). Продолжительность слуховых галлюцинаций соответствует "мгновенному сознанию", кроме того,

masking have been explained as the cognition disturbance in schizophrenic patients, which occur within 50 msec. Thus, “momentary color fusion test”, in which the perception of yellow by the fusion of brief flashes of red and green lights (varying 5-100 msec intervals), enabled us to infer the minimum time required for visual awareness. Only in a limited interval of 40-60 msec flashes of red and green, difference of perceptions between healthy and schizophrenic subjects was noted, namely the former recognized as a result of color fusion phenomenon as yellow, while the latter recognized as green due to the failures of color fusion and backward inhibition, indicating that different patterns of visual cognition possibly exist between the two groups in this particular time window of moment consciousness ; 40-60 msec.

ограничение сенсорного входа и проявления обратной маскировки, которые принято связывать с когнитивными нарушениями у больных шизофренией, тоже продолжаются около 50 мс.

Так, " тест цветового синтеза", в котором образ желтого формируется последовательным предъявлением коротких вспышек зеленого и красного света (с интервалами 5-100 мс), позволил нам определить минимальное время, требуемое для зрительного осознания. При ограничении интервала между вспышками до 40-60 мс была выявлена разница в восприятии между здоровым и больными шизофренией, а именно, здоровые люди видели желтые вспышки, а больные шизофренией – зеленые, проявлялся эффект обратной маскировки в синтезе цветового образа. Таким образом, особенности восприятия цвета при межстимульном интервале 40-60 мс, соответствующем специфическому временному окну «моментального осознания», являются индикатором для разделения здоровых и больных шизофренией.

Furthermore, there may have the possibility that “Phantom space” that generates “Inversion of recognition pattern (Yasunaga)” in the schizophrenic experience is present in a restricted time window of “moment consciousness (Utena)”

Более того, вполне возможно, что "фантомное пространство", которое формирует "инверсию распознования образа (Yasunaga)" у больных шизофренией, существует только в ограниченном временном окне «моментального осознания» (Utena)".

Sechenov described in his book “Reflexes of the Brain” that all actions or behaviors in our lives, whether conscious or unconscious, can be called as reflexes in a broad sense, and that psychic processes will cease when sense organs stop to receiving stimuli. As the fundamental principle of the conditioned reflex theory, Pavlov believed that "no actions exist without cause or stimulus”. He defined conditioned reflexes as reflexes of living bodies acquired in their individual lives, and the unconditioned reflexes as innate activities of definite reflexes, non-dependent upon the cerebral cortex, genetically/ hereditary unconditionally fixed, and most importantly these are bases of a variety of behavioral reactions which are formed as conditioned reflexes.

Сеченов в своей книге «Рефлексы головного мозга» писал, что все поведенческие реакции в нашей жизни, как сознательные так и бессознательные, можно назвать рефлексами, в широком смысле этого слова, и что психические процессы прекратятся, если органы чувств не будут получать стимулы . Принцип - "никакие действия не существуют без причины или стимула", Павлов предлагал рассматривать как фундаментальный принцип теории условных рефлексов. Он определял условные рефлексы, как рефлексы тела, приобретенные в течение индивидуальной жизни, а безусловные рефлексы, как врожденные рефлексы, не связанные с корой головного мозга, генетически/наследственно предопределенные, и, что наиболее важно, являющиеся основой разнообразия поведенческих реакций, которые закрепляются в форме условных рефлексов.

In monkeys, inputs of somatosensory, visual and auditory systems have been shown to converge on a certain area in the posterior association area, i.e., the cortex surrounding the superior temporal sulcus (STS region). The same is the case in cats, showing that the same kinds of inputs converging

У обезьян входы соматосенсорной, зрительной и слуховой систем сходятся в определённых зонах задней ассоциативной области, то есть в коре, окружающей

on the cortex surrounding the middle suprasylvian sulcus (MSS region). The organization of association fibers that converge upon a certain region in the posterior association cortex is shown to be surrounded by these sensory areas of different modalities. This leads to the development of highly advanced areas of recognition, assuming that corresponding parts are present in man which can be conjectured as a highly developed cortical area from the phylogenetic point of view, i.e., the primitive linguistic area in the posterior association area (Wernicke area). Anatomically, the STS region in monkeys may correspond to area 39 (angular gyrus) and area 40 (supramarginal gyrus) of Brodmann (1909) in man as it takes similar or analogous location in the human brain. As the development of the language shows for example in higher primates, repetition of emotional expression and gestures in life generate common rules of understanding with particular signs in the society. Namely, communication or transmission of thought and ideas always accompanied by recognition and emotion, the latter being supporting underneath.

верхнюю височную борозду (область ВВС). То же самое показано и у кошек, у которых разные сенсорные входы конвергируют в коре, окружающей среднюю супрасильвиеву бороздy (ССБ).

Показано, что окончания ассоциативных волокон, которые сходятся в определённых зонах задней ассоциативной коры, окружают сенсорные области коры различных модальностей. Это приводит к формированию высокоорганизованных областей распознавания, объединяющих разномодальные входные сигналы. С филогенетической точки зрения, эти высокоразвитые области коры можно связать с примитивной лингвистической зоной в задней ассоциативной области (зона Вернике).

Анатомически, область ВВС у обезьян может соответствовать области 39 (ангулярная извилина) и области 40 (супрамаргинальная извилина) по Бродману (Brodmann, 1909) у человека. Как показывает развитие языка, например, у высших приматов, многократное повторение в течении жизни форм эмоционального выражения и жестов приводит к созданию в сообществе общих правил для понимания частых сигналов. Это означает, что коммуникация или передача мысли и идей, всегда сопровождаемая распознаванием и эмоциями, имеет эволюционную основу.

The process of acquiring language through the evolutional stage from ape to human probably resembles the developing process of language acquisition occurring in human children. Maturation of the cerebral cortex, being accomplished by development of both the association cortex and cerebral limbic structures, has close relation with activities of recognition, emotion including language functions, which can be elevated to the expression of higher levels. Desire occurring in the animal brain is fundamentally related with the limbic system together with the brainstem reticular activating system. Consequently, the higher order of volition and willingness develop, making it possible to fulfill intentional and planned actions. Higher levels of volition are the products of the higher nervous activities that regulate emotional feelings involving the limbic structures and modulate cognitive functions occurring in the posterior association area by the aid of the backward propagation from the prefrontal cortex. Thus the results of the present brain science are useful to build up a new method of education, particularly for the juvenile and adolescence, and

Процесс формирования языка в ходе эволюции от обезьяны к человеку, вероятно, напоминает процесс овладения языком у детей. Созревание коры головного мозга достигается развитием ассоциативных зон и лимбических структур и тесно связано с активностью распознавания и эмоций, включая языковые функции, которые можно рассматривать, как способ выражения высокого уровня. Формирование потребностей в мозге животных принципиально связано с работой лимбической системы вместе с ретикулярной формацией. Следовательно, развивается высокий уровень воли и готовности, что позволяет выполнять произвольные и запланированные действия. Высокий уровень воли является продуктом высшей нервной деятельности, которая управляет эмоциональным состоянием через лимбическую систему и модулирует когнитивные функции, реализующиеся в задней ассоциативной области. Таким образом, результатом развития нейронауки могут стать новые подходы к образованию и воспитанию детей и подростков, а также

also to level up the standard of social welfare, culture, arts, music and science.

повышение стандартов социальной защиты, культуры, искусства, музыки и науки.

The higher nervous activities that underlie emotion and recognition systems are composed of three systems; cortical sensory (the first signalling) system, linguistic (the second signalling) system of conditioned reflexes, and the subcortical unconditioned reflex system. Since the concept/idea is the abstract action of the language, the second signalling system of conditioned reflexes is the basic nervous activity. The basis of emotion, on the other hand, is chiefly the action of the first signalling system, connected largely with subcortical structures; regions which constitute the limbic system including the amygdala, the septum, the bed nucleus of stria terminalis, the nucleus accumbens/the ventral striatum. Neural circuitries and processes of nervous activities that support the mechanisms of cognition and emotion are interrelated closely with each other, as discussed above by showing anatomical and physiological data. Cognition and emotion are thus indispensable aspects of two indivisible phases, which reflect actual existence in consciousness. There is no emotion without concept, and no concept is present without emotion. Man can understand the high levels of abstract ways of thinking, and creates music, arts, literature and sciences which can be inherited to the next generation. Biological studies of abnormalities of the human mind and spirit are indeed to be pursued in psychiatry.

Высшая нервная деятельность, которая лежит в основе эмоции и осознания, объединяет три системы; корковую сенсорную (первая сигнальная) систему, лингвистическую (вторая сигнальная) систему условных рефлексов, и подкорковую систему безусловных рефлексов. Так как понятие/идея является абстрактным результатом языковой деятельности, в ее основе лежит нервная активность второй сигнальной системы условных рефлексов. С другой стороны, в основе эмоций лежит активность первой сигнальной системы, связанная в значительной степени с активностью подкорковых структур: областей, связанных с лимбической системой, включая амигдалу, перегородку, вентральный стриатум и ряд других ростральных переднемозговых структур. Нервные циклы и процессы нервной активности, которые поддерживают механизмы осознания и эмоции, тесно взаимосвязаны друг с другом, как было показано выше на основании анатомических и физиологических данных. Таким образом, когниции и эмоции - обязательные аспекты двух неделимых фаз процесса отражения объективной реальности в сознании. Не существует эмоций без идей, и никакая идея не существует без эмоции. Человек способен понимать высокие уровни абстракций, создавать музыку, искусство, литературу и науки, которые могут быть унаследованы следующими поколениями. В психиатрии необходимо изучать биологические основы патологий человеческого разума и духа.

Below is a cursory description as compiled under the three headings of 1) Recognition and emotion, 2) Audition and vision at the cortical level, and 3) Brain science and psychiatry, which are the main topics the present author focused in this book of Japanese version. Strictly speaking, this is not the résumé of the text-book, but a free-writing piece as if flowers in a wide garden of the "Brain and Mind" were picked up by a frivolous author.

"RESUME"

1)Recognition and emotion (cf. chapters 1-4 and 8 in the text)

Humans understand language, art and music, because the development of the brain has reached a level to recognize symbolic signals to communicate in the society. Areas 39 and 40 (of Brodmann) in the human parietal lobe are involved in the high order recognition, disturbance of which causes sensory aphasia, apraxia and agnosia.

Functions of the frontal lobe are the active expression of bodily and mental movements as well as planning and performing a series of actions. Cognitive information reaches the prefrontal cortex from the parietal and temporal lobes. There are no direct projections from the posterior association area to the primary motor cortex.

Recognition and emotion are closely related to each other in the expression of "logos" and "pathos". Sensory information reached the cerebral cortex is transmitted from the posterior association area to the anterior association cortex, or the prefrontal cortex, in which information of the stimuli can be converted and be bestowed the connotational significance reflecting the situations occurring in the external world before being sent to the higher cortical motor system.

The amygdala participates in the evaluation of biological values of pleasant or unpleasant feelings in the consolidation of memory by means of emotional conditioning. Furthermore, it is well known that there are Yakovlev's and Papez's circuits which are concerned with emotion and memory, respectively, involving the amygdala, temporal and frontal lobes, cingulate gyrus and hippocampus. In the cingulate gyrus, the amount of regional cerebral blood flow (rCBF) increases in the volitional action of monkeys in the experiment where they found a new maneuver in order to obtain rewards are involved in the autonomic nervous system, the highest center of which is the hypothalamus. Autonomic nervous activities comprise breathing, circulation, perspiration, digestion, appetite and sexual desires. These have close correlation with emotion, activated by the limbic system. Hormonal regulation system covering the hypothalamus, hypophysis and endocrine organs is under the influence of the hippocampus and amygdala. Impulses of smell and taste are known to pass into the cortical and medial nuclei (phylogenetcally old parts) of the amygdala (Norita & Kawamura, 1980), which are also associated with emotion.

2) Audition and vision at the cortical level (cf. chapters 5-7 and 9 in the text)

As the monkey visual cortex is subdivided into V1, V2, V3, V4, TEO, TE, MT and MST, the auditory cortex is classified as the core (further subdivided to AI, R and RT), the belt (CL, ML and AL) and the parabelt (STGc, CPB, RPB STGr) regions. Recent researches have shown that there are various functional areas distributed in the visual system, such as cognition of shapes, colors or movement of objects. In the auditory system, it is also possible to consider the system as composed of such functional subdivisions as pure tones or harmony, high or low tones, forte or piano, as well as pitch and melody.

The brain science has clarified the mechanism of recognition to a certain extent in the visual and auditory systems, particularly in the former. Just as in vision where discontinuous elements of figures perceived in the cortex become united according to the degree of spatial proximity, thus building up the outline of the phrasing, also in hearing sounds, which are closely related to each other in the course of time or tonal rhythm. A musical piece is produced by constructing a pattern with continuous reliance of complex notes. In the auditory cortex, neurons of similar characters are likely to be found in groups. Based on the morphological basis, continuity (melody, tempo) and synthesis (chord, consonance) can be formed from discontinuous elements of sounds as a consequence of activities of correlated neurons that compose neural networks.

Auditory impulses are transmitted to the first auditory area (AI), and further to the auditory association area, in part reaching Wernicke's area. The area that participates in music is closely related to the cortical language area. Brain functions in responding to music may differ according to the development of the brain, including emotional activities displayed in the limbic system that contains the cingulate cortex, hippocampus, orbital cortex, amygdala and nucleus accumbens.

Music is not composed simply of a disordered series of sounds. In music, sounds are integrated and systematized, creating melodies, tempo, tonality and rhythm. The core portion of the auditory cortex receives simple sounds corresponding to the frequency. Impulses are then transmitted from the core to the belt, and further to the parabelt regions. Discriminative quality of the auditory cognition becomes higher as impulses proceed. In the visual system, perception of dots and lines develops to recognize things in nature and animals' faces, as well as colors and movement of objects.

The visual and auditory systems overlap or adjoin in various areas of the midbrain and hindbrain. For example, teleceptive responses have been obtained in the mid-vermal part of the cerebellum after electric stimulation in the cerebral visual and auditory areas of cats and monkeys. We showed that axons of Purkinje cells in the mid-vermal part of the cerebellum terminate in the caudal part of the fastigial nucleus, and they further travel to the tectum. Thus, visuomotor and audiomotor signals are transmitted to the tectal region. It is therefore possible that the two sensory systems act in cooperation at brainstem levels.

In the cerebral cortex also, visual and auditory impulses are known to converge upon the cortical areas surrounding the middle suprasylvian sulcus (MSS) in the cat and the superior temporal sulcus (STS) in the monkey. In these cortical areas neurons were reactive to multiple sensations. Furthermore, the monkey prefrontal cortex receives topographically organized, broad projections from the posterior association area including the STS region. Neurons in areas surrounding the posterior part of the principal sulcus respond to spatiovisual attentive signals, which are surrounded by areas responsive to the auditory attention signals.

Visual stimuli advance from area 37 → TEO → TE. TG field belongs to the auditory association area, and also connected with the amygdala, likely therefore to be relevant to the emotional expression. TG and TE, both belonging to the temporal association area, are strongly connected with the orbitofrontal cortex (OF) by means of reciprocal association fibers called the uncinate fasciculus. These regions (TG, TE, OF) have again reciprocal connections with the amygdaloid nuclei. RECOGNITION can form the inputs for emotional behavior.

As has been demonstrated for the visual system, the auditory system also has the dorsal and ventral pathways, in broader sense, from the posterior association area to the prefrontal cortex. As for the visual system, impulses from area 17 divide into two routes; the dorsal one to the parietal lobe (areas 5 and 7), and the ventral one to the

temporal lobe (TEO, TE, and to TG). It is advocated that the dorsal route concerns the visual space cognition, and the ventral route the object recognition, such as circles, triangles and facial expressions which has closely related to the emotional function.

In the "dorsal pathway", neurons in the parietal and frontal areas respond with similar characteristics. Therefore, spatial information can be used for the programming of action. Conversion of spatial images from the visuo-auditory map to the movement map may be encoded by using this route. The "ventral pathway" includes the uncinate fasciculus that conveys visuo-auditory information to the prefrontal cortex (area 10) from the temporal lobe.

Thus, it is known that the visual information proceeds to the prefrontal cortex via the parietal and temporal lobes. In the parietal lobe, it is concerned with the information of the optic and acoustic positioning in the space; "where". In the temporal lobe, on the other hand, it is concerned with "what" of the visual and auditory objects. In the visual system, complicated forms are recognized as a combination of simple forms (point, lines, triangles etc.) in addition to colors and movements with emotional reactions. Similarly in the auditory system, compound sounds can be recognized as a union of pure (simple) sounds that further develops into melody, harmony and discordant/dissonant. Rhythm and pitch of sounds are also concerned with the brainstem and cerebellum.

A theory of working memory has been proposed as a cognitive function related to the frontal lobe. Working memory in the musical performance is worthy of attention. It is the system which enables the information from the posterior association area to be maintained and carried out in parallel ways. In the beginning, keyboard players use fingers intentionally one by one as they look at musical notes, and after the training (learning mechanism by the cerebellum), their fingers move in patterns. How does the brain work when the player produces melodious tones in the musical performance? While playing music, information is constantly accessed from the storehouse of the memory. This is maintained in the brain for a short time and converted into active movement. Simultaneously, harmonious series of tones are looked for from the pool of the long-term memory in a parallel fashion.

Sensory information integrated and modified in the frontal cortex can be used in active behaviors, ranging from muscle movements to mental activities. A flow chart formulates as: sensory area → posterior association area → prefrontal cortex → high-order motor area → area 4.

Marked progress is made in the primate frontal lobe, given impetus from environment in the working and playing community. The cingulate motor cortex on the medial surface of the hemisphere has been shown recently in monkeys to be related to willingness or "volition".

The circuitry system composed of the basal ganglia – thalamus – cerebral cortex implies significant meaning in the brain function. The circuitry of this organization is closed and can be arranged to form three parallel channels morphologically and functionally; 1) the motor, 2) association and 3) limbic systems.

The prefrontal cortex that contains Broca's area and the posterior association area that contains Wernicke's area are interconnected with association fibers. The ventral parts of the frontal lobe and the temporal pole are also interconnected, both of which have reciprocal connections with the amygdala. Thus, integration of recognition (logos) and emotion (pathos) occurs in the prefrontal cortex, before being transmitted to the motor system in the cortex (supplementary motor area → premotor area → primary motor area). The cognition system is inter-related with the emotional system. Emotional expression is maintained by inputs mostly from the amygdala and the nucleus accumbens, and the volitional expression chiefly from the cingulate gyrus. It must be remembered that feelings of

balance are important in the expression of musical performance supported by the "parallel" functions of the entire brain including the cerebral cortex, striatum, thalamus, cerebellum and brainstem.

The morphological basis of the "backward propagation" from the prefrontal cortex to the posterior association areas is important in considering the relationship of musical performance and memory association. A large number of association fibers from the prefrontal cortex end in the temporal pole, where reciprocal connections are present with the amygdala and hippocampus, and further from there to the posterior STS region upon which polysensory inputs converge and which could be considered as a primitive or premature region for the sensory linguistic area as viewed from an evolutionary stand-point.

3) Brain science and psychiatry (cf. chapters 10-12 in the text)

The whole product of brain activities can be taken as "mind" of animals. Animals communicate with others by using gestures and voices, and humans are able to transfer the products of "mind" to the next generation in the forms of creating arts, music and literature. Accumulation of the inheritance is embodied as culture and civilization in the human society, where normal as well as abnormal characters are struggling to survive. It is important, therefore, for psychiatrists to study pathological aspects of mind, particularly on the basis of biological sciences. It is one of our aims to combine the recent results of the brain science with those of the human science.

Maturation in man, both in bodily and mentally, is established in the course of development, in particular during adolescence, and formation of human features is closely related to the cerebral maturity which includes the formation of "thought", "emotion" and "volition" and self-consciousness, being the total results of brain activities. In the working society, through communication with others, human uses words as sophisticated signals, connecting verbs with nouns, uses verbal tenses, and distinguishes active and passive tenses. Man also expresses and controls feelings of love, angry, sorrow and joy in the community.

Schizophrenia usually starts in adolescence. Communication with other people sometimes becomes inflexible and autistic. Disturbance of cognition and the loosening of thinking ways are very often recognizable from others, and sometimes hallucination occurs. Schizophrenia literally means the "split mind" (schizos=separate; phrenia=spirit or mind). It differs from "split brain" or damage in the brain used in neurology where pathologic signs or symptoms appear consistently.

Remarkable development of the cerebral cortex in man as compared with that in apes can be summarized as the presence of: a) linguistic areas highly developed in both the posterior and anterior association areas, b) very large frontal lobe, especially the prefrontal cortex, and c) a large number of cortico-cortical fibers, connecting bi-directionally between the anterior and posterior association areas.

It is said in human that the left cerebral hemisphere is predominant in the right hemisphere in the comprehension and expression of the language, whereas the right hemisphere is predominant in the left hemisphere in the comprehensive recognition of compound forms and fragmentized figures to build up the conscious-integration of Gestalt, or in the function of transforming special information into groups in images by manipulation or using hands. However, the information in both hemispheres is constantly communicated through commissural fibers; therefore the functional predominance of the hemisphere is always relative, not absolute. With this concept in mind, it is said in general that the right hemisphere is concerned with images of signs transmitted by means of emotional experience,

thus suited for solving problems using imagination, while the left hemisphere is related with understanding languages, searching for rules to connect different kinds of signs.

The discrepancy between the anterior (or frontal) and the posterior (= parietal, temporal and occipital) association areas may be discussed. The rCBF study of chronic schizophrenic patients disclosed that the flow was decreased in their prefrontal cortex and it was increased in the parieto-temporal association areas. Therefore, it can be suggested that in schizophrenic patients the function of the prefrontal cortex is relatively low, while that of the posterior association is conversely high.

Symptoms of the split-mind in the mental disease, especially schizophrenia can be considered below, albeit highly hypothetical.
Firstly, regulatory disturbances of the cortical functions in the cerebrum upon subcortical structures may cause impulsive, disordered, and reflective patterns or manners of emotional expression.
Secondly, the disturbance of bilateral hemispheric communication may cause deterioration or even loss of normal thinking-flows, thus resulting in the mal-formation of cognitive conceptualization which may lead to the abnormal cognition; hallucination and delusion. Disturbances of establishment of self consciousness occur, as a result of MIS-positioning of self in the surrounding space as well as influential suffering experience by others.
Thirdly, the antero-posterior separation of the association cortices is likely to cause decrease of activities, volitions and feelings, manifesting sometimes symptoms of autism or depersonalization. It should be stressed here that the deficits are in many cases functional and temporal, and that the symptoms are not irreversible to be involved in the incurable organic deficits. The disease CAN BE curable by medical treatment.

Generating the model of animals which represents schizophrenia-like symptoms has been carried out, by injecting amphetamine or methamphetamine into rats. The rats that received the drug repeatedly became intoxicated, and displayed some stereotyped behaviors such as biting, licking, and glooming; so called amphetamine stereotypia, while other types of behaviors were suppressed. Furthermore, they became afterwards inclined to display similar symptoms, when they took the drugs repeatedly even a small amount. Likewise, when monkeys received methamphetamine for a long period, they exhibited abnormal types of social behavior resembling the symptom of autism together with particular manners of peeping and body-scratch.

From the baby/childhood to the puberty/adult, neuronal processes develop and glial cells mature and myelinate in the brain. Various types of neuronal circuitries in the brain are activated and strengthened by means of interactions with environment through communication and co-working in the society. Thus, in the process of constant activation of neural networks in the cerebral cortex, based on the mechanical basis of the conditioned reflex, particularly with the help of the second signal system, people can be educated intellectually and emotionally.

Time conception of cognitive consciousness was hypothesized as having a quantal unit with 25-50 msec duration ("moment consciousness", Utena). Auditory hallucination could take place during the "moment consciousness". Also, the sensory gating deficit and excessive degree of the backward masking have been explained as the cognition disturbance in schizophrenic patients, which occur within 50 msec. Thus, “momentary color fusion test”, in which the perception of yellow by the fusion of brief flashes of red and green lights (varying 5-100 msec intervals), enabled us to infer the minimum time required for visual awareness. Only in a limited interval of 40-60 msec flashes of red and green, difference of perceptions between healthy and schizophrenic subjects was noted, namely the former recognized as a result of color fusion phenomenon as yellow, while the latter recognized as green due to the failures of color fusion and backward inhibition, indicating that different patterns of visual cognition possibly exist between

the two groups in this particular time window of moment consciousness ; 40-60 msec. Furthermore, there may have the possibility that “Phantom space” that generates “Inversion of recognition pattern (Yasunaga)” in the schizophrenic experience is present in a restricted time window of “moment consciousness (Utena)”.

Sechenov described in his book “Reflexes of the Brain” that all actions or behaviors in our lives, whether conscious or unconscious, can be called as reflexes in a broad sense, and that psychic processes will cease when sense organs stop to receiving stimuli. As the fundamental principle of the conditioned reflex theory, Pavlov believed that "no actions exist without cause or stimulus”. He defined conditioned reflexes as reflexes of living bodies acquired in their individual lives, and the unconditioned reflexes as innate activities of definite reflexes, non-dependent upon the cerebral cortex, genetically/hereditary unconditionally fixed, and most importantly these are bases of a variety of behavioral reactions which are formed as conditioned reflexes.

In monkeys, inputs of somatosensory, visual and auditory systems have been shown to converge on a certain area in the posterior association area, i.e., the cortex surrounding the superior temporal sulcus (STS region). The same is the case in cats, showing that the same kinds of inputs converging on the cortex surrounding the middle suprasylvian sulcus (MSS region). The organization of association fibers that converge upon a certain region in the posterior association cortex is shown to be surrounded by these sensory areas of different modalities. This leads to the development of highly advanced areas of recognition, assuming that corresponding parts are present in man which can be conjectured as a highly developed cortical area from the phylogenetic point of view, i.e., the primitive linguistic area in the posterior association area (Wernicke area). Anatomically, the STS region in monkeys may correspond to area 39 (angular gyrus) and area 40 (supramarginal gyrus) of Brodmann (1909) in man as it takes similar or analogous location in the human brain. As the development of the language shows for example in higher primates, repetition of emotional expression and gestures in life generate common rules of understanding with particular signs in the society. Namely, communication or transmission of thought and ideas always accompanied by recognition and emotion, the latter being supporting underneath.

The process of acquiring language through the evolutional stage from ape to human probably resembles the developing process of language acquisition occurring in human children. Maturation of the cerebral cortex, being accomplished by development of both the association cortex and cerebral limbic structures, has close relation with activities of recognition, emotion including language functions, which can be elevated to the expression of higher levels. Desire occurring in the animal brain is fundamentally related with the limbic system together with the brainstem reticular activating system. Consequently, the higher order of volition and willingness develop, making it possible to fulfill intentional and planned actions. Higher levels of volition are the products of the higher nervous activities that regulate emotional feelings involving the limbic structures and modulate cognitive functions occurring in the posterior association area by the aid of the backward propagation from the prefrontal cortex. Thus the results of the present brain science are useful to build up a new method of education, particularly for the juvenile and adolescence, and also to level up the standard of social welfare, culture, arts, music and science.

The higher nervous activities that underlie emotion and recognition systems are composed of three systems; cortical sensory (the first signalling) system, linguistic (the second signalling) system of conditioned reflexes, and the subcortical unconditioned reflex system. Since the concept/idea is the abstract action of the language, the second signalling system of conditioned reflexes is the basic nervous activity. The basis of emotion, on the other hand, is chiefly the action of the first signalling system, connected largely with subcortical structures; regions which constitute the limbic system including the amygdala, the septum, the bed nucleus of stria terminalis, the nucleus accumbens/the ventral striatum. Neural circuitries and processes of nervous activities that support the mechanisms

of cognition and emotion are interrelated closely with each other, as discussed above by showing anatomical and physiological data. Cognition and emotion are thus indispensable aspects of two indivisible phases, which reflect actual existence in consciousness. There is no emotion without concept, and no concept is present without emotion. Man can understand the high levels of abstract ways of thinking, and creates music, arts, literature and sciences which can be inherited to the next generation. Biological studies of abnormalities of the human mind and spirit are indeed to be pursued in psychiatry.

"Résumé" in Russian

1) Распознавание и эмоции (краткое описание глав 1-4 и 8)

Способность людей понимать язык, музыку и искусство обусловлена таким уровнем развития мозга, который позволяет распознавать символические сигналы в сфере коммуникаций. Сегодня мы располагаем фрагментарными знаниями о механизмах этого распознавания.

Так, известно, что зоны 39 и 40 (по Бродману) теменной коры отвечают у человека за целый ряд высших психических функций, связанных с процессом распознавания. При их повреждении возникают такие когнитивные расстройства, как афазия, апраксия и агнозия.

Лобные доли коры, в свою очередь, ответственны за планирование и реализацию сложных действий, движений, а также за процессы мышления. Когнитивная информация поступает в префронтальную (переднюю лобную) кору из теменных и височных долей. При этом важно подчеркнуть, что прямые проекции из задней ассоциативной области в первичную моторную кору отсутствуют.

Тесная взаимосвязь распознавания образа и его эмоциональной оценки нашла своё отражение в понятиях «разум» (logos) и «чувства» (pathos). Сенсорная информация, поступившая в головной мозг, передаётся из первичной ассоциативной области в заднюю ассоциативную или префронтальную кору, где обогащается эмоциональной оценкой значимости ситуации, преобразуется, и лишь затем направляется в высшее корковое представительство моторной системы.

Амигдала обеспечивает аффективную оценку биологической значимости сигналов («приятные» или «неприятные», позитивные или аверсивные) и, интегрирую свежую сенсорную информацию с хранящейся в памяти, формирует определённое эмоциональное состояние. Это закономерно, ведь нейронные циклы Яковлева и Пейпеза, отвечающие, соответственно, за механизмы эмоций и памяти, включают, прежде всего, амигдалу, височную и лобную доли коры, поясную (цингулярную) извилину и гиппокамп. Эти циклы, получившие в литературе название лимбической системы (МакЛин), тесно взаимодействуют с автономной нервной системой, высшим центром которой является гипоталамус. В результате обеспечивается взаимодействие нейронных сетей, формирующих эмоциональный и вегетативный компоненты восприятия. Например, показано, что у обезьян в экспериментах с произвольным поведением повышается региональный кровоток в поясной извилине в том случае, если они находят новое решение для получения подкрепления. Автономная нервная система обеспечивает регуляцию дыхания, пищеварения, кровообращения, потоотделения, сексуальных желаний, аппетита и других витальных функций. Очевидна её связь с эмоциональной сферой, формируемой лимбической системой. Однако гиппокамп и амигдала влияют также и на систему гормональной регуляции, включающую гипоталамус, гипофиз и эндокринные железы третьего порядка. Базальные ганглии (филогенетически старые части), в которые из амигдалы плступают сигналы, обеспечивающие обоняние и вкус (Норита и Кавамура, 1980), также тесно связаны с эмоциональной сферой.

Таким образом, мы можем достаточно уверенно очертить те мозговые структуры, которые обеспечивают формирование восприятия со всеми четырьмя базовыми компонентами: когнитивным, эмоциональным, моторным и вегетативным. По-существу, все они имеют циклическую структуру, причём эти циклы взаимно переплетаются, образуя общие зоны сопряжения.

2) Корковое представительство зрения и слуха (краткое описание глав 5-7 и 9)

У обезьян зрительная (затылочная) кора подразделяется на несколько зон: V1, V2, V3, V4, TEO, TE, MT и MST. В свою очередь, слуховая (височная) кора делится на центральную область (включающую зону A1, R-ростролатеральную и RT-ростротемпоральную зоны) и опоясывающие её области А2: так называемый белт (зоны CL, ML и AL) и парабелт (зоны STGs, CPB, RPB и STGr). Недавние исследования показали существование в зрительной коре различных функциональных областей, ответственных за распознавание формы, цвета или движения объектов. В слуховой системе также можно

выделить функциональные области, отвечающие за распознавание чистых тонов или гармоник, высоких или низких звуков, громких или тихих, а также речи и мелодии.

Механизмы распознавания в зрительной и слуховой системах изучены сегодня нейробиологами только в общих чертах. Известно, например, что как в зрительной системе отдельные элементы фигур на корковом уровне объединяются в зрительную сцену по степени их пространственной близости, так и в слуховой системе объединяются звуки, связанные друг с другом временем или ритмом. Нейронный паттерн формируется при прослушивании музыкального фрагмента на основе целостного комплекса звучащих нот. Характерно, что в слуховой коре нейроны со сходными свойствами объединены в группы (модули). Образ последовательности звуков (мелодия, темп) или результата их синтеза (аккорд, гармония) может быть сформирован из отдельных «элементарных» звуков благодаря взаимодействию активированных нейронов, которые составляют нейронные сети, объединённые на морфологической основе.

В слуховой системе импульсы оиз таламуса сначала поступают в первичную слуховую область, а уже затем – в ассоциативную слуховую область, захватывая и зону Вернике. Существенно, что важнейшая для восприятия музыки зона одновременно является и речевой зоной слуховой коры. В процессе развития мозга его реакции на музыку могут изменяться, начинает проявляться эмоциональная активность, нейронные корреляты которой регистрируются в лимбической системе, включающей поясную кору, гиппокамп, орбитальную кору, амигдалу и прилежащее ядро.

Музыка не является беспорядочным набором звуков. В музыке звуки объединены и систематизированы для создания мелодии, темпа, тональности и ритма. Центральная зона слуховой коры выделяет из сложного звукового сигнала простые звуки соответствующих частот (тональностей). Импульсы передаются от А1 к А2, достигая парабелта. При передаче импульсов на каждом следующем шаге повышается качество слухового распознавания. Аналогично, в зрительной системе развито восприятие точек и линий (контуров) для распознавания природных объектов, лиц, животных, а также цветов и движений объектов.

В некоторых областях среднего и переднего мозга пути зрительной и слуховой систем пересекаются. Так, например, было показано, что при электрической стимуляции и зрительных, и слуховых областей мозга регистрируются ответы в медиальной части червя мозжечка. Мы (Кавамура) установили, что аксоны клеток Пуркинье в средней части червя мозжечка заканчиваются в каудальной части ядер шатра, а оттуда информация направляется в тектум. Таким образом, и зрительно-моторные, и слухо-моторные сигналы передаются в тектум. Это указывает на очевидную возможность взаимодействия зрительной и слуховой систем на уровне ствола мозга.

Известно, что в коре больших полушарий зрительные и слуховые потоки импульсов сходятся в областях, окружающих среднюю супрасильвиеву борозду (MSS) у кошек и верхнюю височную борозду (STS) у обезьян. Нейроны этих областей являются мультимодальными. Кроме того, префронтальная кора обезьян получает хорошо топографически организованные мощные проекции от запдней ассоциативной области, включая верхнюю височную борозду. Нейроны в зонах, окружающих заднюю часть основной борозды, отвечают на зрительные сигналы и, в свою очередь, окружены областями, отвечающими на слуховые сигналы.

В зрительной системе импульсы распространяются из зоны 37 (по Бродману) в TEO и TE. Поле TG принадлежит слуховой ассоциативной области, которая также связана с амигдалой, отвечающей за эмоции. Кроме тогго, поля TG и TE принадлежат к височной ассоциативной области, которая тесно связана с лобно-орбитальной корой (OF) реципрокными ассоциативными волокнами, которые называются крючковидным пучком. Эти же области имеют реципрокные связи с амигдалой. Таким образом, в процессе распознавания с очевидностью может происходить и формирование эмоционального поведения.

Аналогично зрительной системе, слуховая система также имеет дорзальные и вентральные (в расширительном понимании) пути от задней ассоциативной области к префронтальной коре. Что качается зрительной системы, известно, что импульсация их зоны 17 распределяется по двум путям: дорзальному – в теменную кору (Зоны 5 и 7), и вентральному – к височной доле (TEO, TE и TG). Сегодня доказано, что дорзальный путь связан с формированием субъективного зрительного пространства, а вентральный – с распознаванием объектов (например, геометрических фигут наподобие кругов, треугольников и т.д.) или выражений лица, что имеет самое непосредственное отношение к эмоциональной сфере.

В «дорзальном пути» нейроны теменных и лобных долей имеют сходные характеристики. Поэтому пространственная информация может использоваться для формирования программ действий. На этом пути может происходить преобразование пространственных образов из зрительно-слуховой формы кодирования в двигательное кодирование. «Вентралный путь» образован волдокнами крючковидного пучка, которые передают зрительно-слуховую информацию из височной доли в префронтальную кору (зона 10).

Таким образом, ясно, что зрительная и слуховая информация передаётся в префронтальную кору через теменные и височные зоны. Через теменную зону идёт информация о положении источника зрительного и слухового сигнала, то есть формируется ответ на вопрос «где?». В височной зоне, с другой стороны, форомируется ответ на вопрос «что?», то есть качественная размерность для зрительных и слуховых объектов. В зрительной системе сложные формы распознаются как комбинация простых форм (точки, линии, треугольники и т.д.) в дополнение к цветовым характеристикам, движениям и эмоциональным реакциям. Так же и в слуховой системе сложные звуки распознаются как объединение чистых (простых) звуков, которое развивается в мелодию, гармонию и диссонанс. Ритм и сила подачи звуков связаны при этом со стволовыми отделами мозга и мозжечком.

Концепция рабочей памяти постулирует, что эта когнитивная функция связана с лобными долями. Рабочая память принимает участие и в восприятии музыки. Эта система позволяет обрабатывать и рассылать по параллельным путям информацию от задней ассоциативной области. В начале разучивания музыканты умышленно используют пальцы один за другим (последовательно), поскольку они смотрят в ноты, а после тренировки (обучения с вовлечением мозжечка), движения пальцев образуют целостные координации. Как работает мозг , когда музыкант создает мелодии? При исполнении музыки существует постоянное поступление информации из памяти. Эта информация поддерживается в мозгу в течение короткого времени и преобразовывается в активное движение. Одновременно, из долговременной памяти извлекается сразу целый гармонический набор музыкальных тонов.

Сенсорная информация, объединенная и измененная во фронтальной коре, может использоваться в активном поведении, в рамках преобразования от мышечных движений до работы сознания. Схематично это можно представить так: сенсорные области – задние ассоциативный области – префронтальная кора – высшие моторные зоны – зона 4.

Описанный процесс происходит в передней лобной коре, обеспечивающей единство обработки и воспроизведения информации при реакции на внешней сигнал. Недавно на обезьянах было показано, что медиальная поверхность цингулярной моторной коры связана с мотивационной готовностью или "волей".

Система, состоящая из базальных ганглиев – таламуса – коры больших полушарий, имеет важнейшее значение в работе мозга. Эта замкнутая система формирует три параллельных морфофункциональных канала: 1) моторную, 2) ассоциативную и 3) лимбическую системы.

Префронтальная кора, которая содержит зону Брока, и задняя ассоциативная область, которая содержит зону Вернике, связаны друг с другом ассоциативными волокнами. Вентральная часть лобной и теменной долей также взаимосвязаны, при этом обе части имеют реципрокные контакты с амигдалой. Таким образом, интеграция распознавания («logos») и эмоции («pathos») происходит в префронтальной коре прежде, чем информация может быть передана к моторной системе коры (дополнительные моторные области – премоторная зона – первичная моторная кора). Когнитивная система и эмоциональная система являются взаимозависимыми. Эмоции обеспечиваются, главным образом, входами от миндалины и прилежащего ядра, а осознание, в основном, от поясной извилины. Важно помнить, что чувство баланса, важнейшее для музыкального искусства, поддерживается "параллельными" процессами во всем мозгу, включая кору больших полушарий, полосатое тело, таламус, мозжечок и ствол мозга.

Морфологическая основа "петли обратной связи" (“backward propagation”) от префронтальной коры до задней ассоциативной области важна при рассмотрении связи между музыкальными преобразованиями и ассоциациативной памяью. Большое количество ассоциативных волокон, идущих от префронтальной коры, заканчивается в височной доле, где присутствуют реципрокные связи с амигдалой и гиппокампом, и далее от неё направляются в область задней верхневисочной борозды, на который конвергируют полимодальные сенсорные входы и которую, с эволюционной точки зрения, можно было бы рассматривать как зону предобработки информации для сенсорной лингвистической области.

3) Наука о мозге и психиатрия (краткое описание глав 10-12)

Целостный результат активности мозга можно рассматривать как «разум» животных. Животные общаются друг с другом с помощью жестов и речи, а люди имеют возможность передать продукты своего "разума" следующим поколениям в форме произведений искусства, музыки и литературы. Накопленный опыт воплощается в культуре и цивилизация человеческого общества, в которой изо всех сил пытаются выжить как нормальные, так и неправильные характеры. Пэотому важно, особенно для психиатров, на основе биологических наук изучать патологические аспекты разума. Одна из целей нашей работы состоит в объединении последних достижений науки о мозге с другими гуманитарными науками.

Установлено, что в ходе возрастного развития происходит физическое и психическое созревание человека. Особые изменения наблюдаются в юности. Формирование личностных особенностей человека, таких как «мышление», «эмоции», «воля» и «самосознание», тесно связано с созреванием мозга и является результатом его активности. В трудовой деятельности для коммуникации с другими людьми человек использует слова как сложные сигналы, соединяет глаголы с существительными, использует разные времена глаголов, различает активные и пассивные временные формы. Также в общении человек выражает и контролирует свои чувства: любовь, ненависть, горе и радость.

Шизофрения обычно проявляется в юности. В общении с другими людьми появляется упрямство и аутизм. Развиваются когнитивные нарушения, ослабляется мышление, а иногда возникают галлюцинации. Шизофрения буквально означает "раздвоение личности" (schizos=раздвоение; phrenia=душа или разум). Это отличается от "расщепленного мозга" или неврологических нарушений, при которых патологические признаки или симптомы появляются последовательно.

Можно выделить следующие основные особенности развития коры головного мозга человека, в отличие от человекообразных обезьян: a) лингвистические области сильно развиты как в задней, так и в передней ассоциативной области , b) очень большая лобная доля, и, особенно, передняя лобная кора, и c) большое количество кортико-кортикальных волокон, обеспечивающих двусторонее взаимодействие между передними и задними ассоциативными зонами.

Считается, что у человека левое полушарие доминирует в обработке лингвистической информации, в понимании и формировании слов, тогда как правое полушарие является ведущим в распознавании сложных форм и фигур, в сознательном синтезе отдельных фрагметов в единый образ, а также в формировании моторного образа для управления руками. Однако оба полушария постоянно обмениваются информацией через комиссуры, поэтому функциональное доминирование полушария всегда относительно, а не абсолютно. В этой концепции утверждается, что правое полушарие связано с представлением сигнала, переданного посредством эмоционального опыта, что соответствует решению проблемы с использованием воображения , тогда как левое полушарие связано с пониманием языка и поиском правил для соединения различных признаков сигнала в целостный образ.

Можно обсуждать разницу между передними и задними (=теменной, височной и затылочной) ассоциативными областями. ПЭТ исследование пациентов с хронической шизофренией показало, что кровоток в передней лобной коре был уменьшен, а в теменно-височной ассоциативной области - увеличен. Поэтому можно предполагать, что у больных шизофренией относительно слабо развиты функции профронтальной коры, тогда как функции задних ассоциативных областей, наоборот, развиты сильно.

Попытаемся рассмотреть, хотя бы очень гипотетически, признаки и механизмы раздвоения личности при психических заболеваниях, особенно шизофрении..

Во-первых, нарушение корковых и подкорковых функций приводит к импульсивному, беспорядочному и рефлексивному проявлению эмоций.

Во-вторых, нарушение межполушарного взаимодействия может вызвать ухудшение или даже потерю способности мыслить, в результате искажается когнитивная концептуализация, что может привести к отклонениям в ощущениях, восприятии, абстрактном мышлении, галлюцинациям и иллюзиям. Нарушения в осознании себя происходят в результате неправильного позиционирования себя относительно окружающего пространства, а так же под влиянием опыта страданий других людей.

В-третьих, нарушение связей между передгими и задними ассоциативными зонами способствует уменьшению активности, ослаблению воли и чувств, иногда провоцируя симптомы аутизма или деперсонализации. Здесь важно подчеркнуть, что эти нарушения, во многих случаях лишь функциональные и временные, тем не менее необратимы, поскольку связаны с нарушениями в структуре мозга. Болезнь МОЖЕТ БЫТЬ вылечена медицинскими средствами.

Экспериментальная модель шизофрении, обеспечивающая воспроизведение характерных симптомов, была получена при введении крысам амфетамина и метамфетамина. У крыс, которые получали препарат неоднократно, проявлялись признаки опьянения и некоторые стереотипные формы поведения: они кусались, облизывались, злились - так называемая амфетаминовая стереотипия, - в то время, как другие формы поведения были подавлены. Кроме того, впоследствии у них появлялась склонность к подобным симптомам при повторном введении даже очень малых доз препарата. Аналогично, когда обезьяны получали метамфетамин в течение длительного периода, они проявляли патологические формы поведения, напоминающие симптомы аутизма, вместе со специфическими особенностями, такими как черезмерное любопытства и расцарапывание тела.

В онтогензе, от младенчества до пубертатного периода, происходит развитие нервных структур, рост глиальной ткани и миелинизация нервных волокон. Различные типы нейронных циклов активируются и закрепляются при взаимодействии с окружающей средой через коммуникации и сотрудничество в обществе. Таким образо, формирование интелелкта и эмоций у людей происходит при автоматической реализации условных рефлексов (в частности, с помощью второй сигнальной системы) в процессе постоянной активации нейронных сетей в коре головного мозга.

В рамках концепции когнитивного времени была выдвинута гипотеза о наличии кванта осознания продолжительностью 25-50 мс ("мгновенное сознание", Utena). Продолжительность слуховых галлюцинаций соответствует "мгновенному сознанию", кроме того, ограничение сенсорного входа и проявления обратной маскировки, которые принято связывать с когнитивными нарушениями у больных шизофренией, тоже продолжаются около 50 мс.

Так, " тест цветового синтеза", в котором образ желтого формируется последовательным предъявлением коротких вспышек зеленого и красного света (с интервалами 5-100 мс), позволил нам определить минимальное время, требуемое для зрительного осознания. При ограничении интервала между вспышками до 40-60 мс была выявлена разница в восприятии между здоровым и больными шизофренией, а именно, здоровые люди видели желтые вспышки, а больные шизофренией – зеленые, проявлялся эффект обратной маскировки в синтезе цветового образа. Таким образом, особенности восприятия цвета при межстимульном интервале 40-60 мс, соответствующем специфическому временному окну «моментального осознания», являются индикатором для разделения здоровых и больных шизофренией.

Более того, вполне возможно, что "фантомное пространство", которое формирует "инверсию распознования образа (Yasunaga)" у больных шизофренией, существует только в ограниченном временном окне «моментального осознания» (Utena)"

Сеченов в своей книге «Рефлексы головного мозга» писал, что все поведенческие реакции в нашей жизни, как сознательные так и бессознательные, можно назвать рефлексами, в широком смысле этого слова, и что психические процессы прекратятся, если органы чувств не будут получать стимулы . Принцип - "никакие действия не существуют без причины или стимула", Павлов предлагал рассматривать как фундаментальный принцип теории условных рефлексов. Он определял условные рефлексы, как рефлексы тела, приобретенные в течение индивидуальной жизни, а безусловные рефлексы, как врожденные рефлексы, не связанные с корой головного мозга, генетически/наследственно предопределенные, и, что наиболее важно, являющиеся основой разнообразия поведенческих реакций, которые закрепляются в форме условных рефлексов.

У обезьян входы соматосенсорной, зрительной и слуховой систем сходятся в определённых зонах задней

ассоциативной области, то есть в коре, окружающей верхнюю височную борозду (область ВВС). То же самое показано и у кошек, у которых разные сенсорные входы конвергируют в коре, окружающей среднюю супрасильвиеву бороздy (ССБ).

Показано, что окончания ассоциативных волокон, которые сходятся в определённых зонах задней ассоциативной коры, окружают сенсорные области коры различных модальностей. Это приводит к формированию высокоорганизованных областей распознавания, объединяющих разномодальные входные сигналы. С филогенетической точки зрения, эти высокоразвитые области коры можно связать с примитивной лингвистической зоной в задней ассоциативной области (зона Вернике).

Анатомически, область ВВС у обезьян может соответствовать области 39 (ангулярная извилина) и области 40 (супрамаргинальная извилина) по Бродману (Brodmann, 1909) у человека. Как показывает развитие языка, например, у высших приматов, многократное повторение в течении жизни форм эмоционального выражения и жестов приводит к созданию в сообществе общих правил для понимания частых сигналов. Это означает, что коммуникация или передача мысли и идей, всегда сопровождаемая распознаванием и эмоциями, имеет эволюционную основу.

Процесс формирования языка в ходе эволюции от обезьяны к человеку, вероятно, напоминает процесс овладения языком у детей. Созревание коры головного мозга достигается развитием ассоциативных зон и лимбических структур и тесно связано с активностью распознавания и эмоций, включая языковые функции, которые можно рассматривать, как способ выражения высокого уровня. Формирование потребностей в мозге животных принципиально связано с работой лимбической системы вместе с ретикулярной формацией. Следовательно, развивается высокий уровень воли и готовности, что позволяет выполнять произвольные и запланированные действия. Высокий уровень воли является продуктом высшей нервной деятельности, которая управляет эмоциональным состоянием через лимбическую систему и модулирует когнитивные функции, реализующиеся в задней ассоциативной области. Таким образом, результатом развития нейронауки могут стать новые подходы к образованию и воспитанию детей и подростков, а также повышение стандартов социальной защиты, культуры, искусства, музыки и науки.

Высшая нервная деятельность, которая лежит в основе эмоции и осознания, объединяет три системы; корковую сенсорную (первая сигнальная) систему, лингвистическую (вторая сигнальная) систему условных рефлексов, и подкорковую систему безусловных рефлексов. Так как понятие/идея является абстрактным результатом языковой деятельности, в ее основе лежит нервная активность второй сигнальной системы условных рефлексов. С другой стороны, в основе эмоций лежит активность первой сигнальной системы, связанная в значительной степени с активностью подкорковых структур: областей, связанных с лимбической системой, включая амигдалу, перегородку, вентральный стриатум и ряд других ростральных переднемозговых структур. Нервные циклы и процессы нервной активности, которые поддерживают механизмы осознания и эмоции, тесно взаимосвязаны друг с другом, как было показано выше на основании анатомических и физиологических данных. Таким образом, когниции и эмоции - обязательные аспекты двух неделимых фаз процесса отражения объективной реальности в сознании. Не существует эмоций без идей, и никакая идея не существует без эмоции. Человек способен понимать высокие уровни абстракций, создавать музыку, искусство, литературу и науки, которые могут быть унаследованы следующими поколениями. В психиатрии необходимо изучать биологические основы патологий человеческого разума и духа.

慶應義塾大学出版会：加筆（補筆）訂正のうえ、許可を得て掲載